



**TUGAS AKHIR - MN 141581**

# **ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL TANKER DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Ardianus**  
**NRP 4113100034**

**Dosen Pembimbing**  
**Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.**  
**Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2017**



---

**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG  
KAPAL TANKER DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Ardianus**  
**NRP 4113100034**

**Dosen Pembimbing**  
**Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**  
**Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2017**



**FINAL PROJECT - MN 141581**

# **STRENGHT ANALYSIS OF TRANSVERSE BULKHEAD IN OIL TANKER USING FINITE ELEMENT METHODE**

**Ardianus  
NRP 4113100034**

**Supervisors  
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.  
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL TANKER DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

#### TUGAS AKHIR

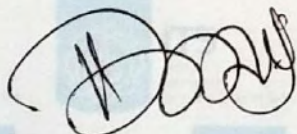
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ARDIANUS**  
NRP 4113100034

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Dony Setyawan, S.T., M. Eng.  
NIP 19750320 199903 1 001

Dosen Pembimbing I



Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.  
NIP 19840921 201212 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



I. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 18 JULI 2017



## LEMBAR REVISI

### ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL TANKER DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

#### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 18 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

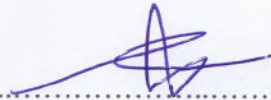
Oleh:

**ARDIANUS**

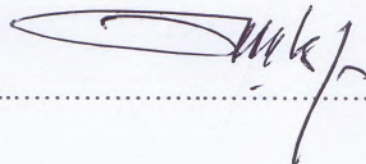
NRP 4113100034

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T

  
.....

2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

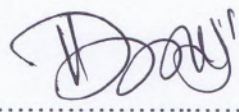
  
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.

  
.....

2. Dony Setyawan, S.T., M. Eng.

  
.....

SURABAYA, 18 JULI 2017

*Dipersembahkan kepada Ayah dan Ibu tersayang, Adik-adikku Aris dan Yuli semoga selalu diberi kesehatan dan kemudahan oleh Allah.*

*Kepada kedua nenekku almarhumah nenek Meli dan nenek Sindi yang tak sempat bertemu denganku untuk terakhir kalinya, semoga engkau diberi ketenangan oleh tuhan dalam peristirahatanmu.*

*Kepada semua keluarga besar dari ayah dan ibu yang selalu memberi semangat dan dukungan kepadaku untuk menyelesaikan studi ini.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga**” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Dony Setyawan, S.T., M. Eng selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Totok Yulianto, S.T. M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium.
4. Hasanuddin, S.T. M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas izin pemakaian fasilitas laboratorium.
5. Dedi Dwi Sanjaya, Shakina Azizul Haque, dan Zaki Rabbani teman seperjuangan sebagai penyemangat serta bantuannya selama pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman-teman di laboratorium desain kapal selama pengerjaan tugas akhir ini Mayangkara, Robi, Regi, Sulowes, Moris, Sono, Dwiko, Titin, dll.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 16 Juni 2017

Ardianus

# ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL TANKER DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Ardianus  
NRP : 4113100034  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.  
2. Dony Setyawan, S.T. M. Eng.

## ABSTRAK

Dalam proses desain kapal khususnya kapal niaga perhitungan kekuatan dan pemilihan konstruksi yang kokoh dan kuat sangat dibutuhkan. Terdapat beberapa jenis konstruksi di setiap bagian kapal. Perbedaan jenis konstruksi pada kapal mempengaruhi nilai kekuatan kapal dalam mengangkut muatan. Salah satu perbedaan jenis konstruksi konstruksi berada pada jenis sekat yang digunakan yaitu *corrugated bulkhead* dan *transverse bulkhead*. Pemilihan jenis konstruksi sekat ini tentunya mempunyai nilai kekuatan yang berbeda.

Analisa konstruksi sekat dilakukan dengan mengkonversi *corrugated bulkhead* ke *transverse bulkhead* dengan modulus penampang dan panjang elemen yang sama. *Corrugated bulkhead* divariasikan pada sudut yang berbeda dan *transverse bulkhead* berupa penguat horizontal atau penumpu. Kemudian dilakukan pemodelan dan analisa kekuatan konstruksi menggunakan *finite element software*. Sehingga mendapatkan perbandingan nilai kekuatan konstruksi masing-masing sekat.

Dari hasil analisa didapatkan, *corrugated bulkhead* mempunyai kekuatan lebih besar serta berat konstruksi yang lebih ringan dibandingkan dengan *transverse bulkhead*. Tegangan terkecil berada pada *corrugated bulkhead* sudut  $45^0$  yaitu  $76.6 \text{ N/mm}^2$  dan tegangan terbesar pada *Transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu  $145 \text{ N/mm}^2$ . Deformasi terkecil pada *corrugated bulkhead existing* yaitu 2.48 mm dan deformasi terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 6.64 mm. Berat konstruksi terkecil pada *corrugated bulkhead existing* yaitu 38.1 ton dan berat konstruksi terbesar pada *transverse bulkhead* dengan penumpu sebesar 49.5 ton. Konstruksi sekat yang paling murah adalah *corrugated bulkhead* sudut  $64.36^0$  (existing) dikarenakan mempunyai berat konstruksi terkecil dan nilai tegangan  $85.4 \text{ N/mm}^2$  yang masih memenuhi tegangan ijin.

**Kata kunci:** *Corrugated bulkhead*, *finite element software*, kekuatan konstruksi, *transverse bulkhead*.



# STRENGTH ANALYSIS OF TRANSVERSE BULKHEAD IN OIL TANKER USING FINITE ELEMENT METHODE

Author : Ardianus  
ID No. : 4113100034  
Dept. / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisors : 1. Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.  
2. Dony Setyawan, S.T. M.Eng.

## ABSTRACT

In the ship design process a strong and solid construction calculation is very required. There are different types of construction on each part of the ship. The different types of ship construction affect the strength of the ship in carrying load. One of the different types of construction is on the type of bulkhead that is used which is corrugated bulkhead and transverse bulkhead. Selection of this type of bulkhead construction certainly has different strengths.

The analysis of bulkhead construction is done by convert corrugated bulkhead to transverse bulkhead with similar modulus section and length of element. Corrugated bulkhead is varied at different angles and the transverse bulkhead varied at horizontal girder. Then make the modeling and analysis of the strength of construction using finite element software. So the comparison of the strength value of each construction is obtained.

From the analysis results obtained, corrugated bulkhead has greater strength and construction weight is lighter than the transverse bulkhead. The smallest stress occurs at the corrugated bulkhead at angle of  $45^0$  that is  $76.6 \text{ N/mm}^2$  and the largest stress occurs at the transverse bulkhead without horizontal girder that is  $145 \text{ N/mm}^2$ . The smallest deformation occurs at the existing corrugated bulkhead that is  $2.48 \text{ mm}$  and the largest deformation occurs at transverse bulkhead without girder that is  $6.64 \text{ mm}$ . The smallest construction weight is the existing corrugated bulkhead that is  $38.1 \text{ tons}$  and the largest construction weight is the transverse bulkhead with girder that is  $49.5 \text{ tons}$ . The most inexpensive bulkhead construction is existing corrugated bulkhead at angle  $64.36^0$  due to the smallest construction weight and  $85.4 \text{ N/mm}^2$  stress value which still meets the permissible stress.

**Keywords :** Construction strength, corrugated bulkhead, finite element software, transverse bulkhead.

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1.    Latar Belakang Masalah .....	1
I.2.    Perumusan Masalah.....	2
I.3.    Tujuan.....	2
I.4.    Batasan Masalah.....	2
I.5.    Manfaat.....	2
I.6.    Hipotesis.....	3
Bab II Studi literatur .....	5
II.1.    Dasar Teori.....	5
II.1.1.  Modulus Penampang Sekat bergelombang.....	5
II.1.2.  Modulus Penampang sekat melintang .....	5
II.1.3.  Modulus profil .....	6
II.1.4.  Lebar pelat efektif.....	7
II.1.5.  Tekanan Statis Tangki .....	8
II.2.    Tinjauan Pustaka .....	9
II.2.1.  Konstruksi Sekat melintang.....	9
II.2.2.  Tegangan .....	12
II.2.3.  Regangan .....	14
II.2.4.  Modulus Elastisitas.....	15
II.2.5.  Sifat Mekanik Bahan .....	16
II.2.6.  Tekanan Hidrostatik .....	17
II.2.7.  Metode Elemen Hingga .....	18
Bab III METODOLOGI .....	23
III.1.    Metode.....	23
III.2.    Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	23
III.3.    Studi Literatur .....	23
III.4.    Pengumpulan Data .....	24
III.5.    Pemodelan Elemen Hingga ( <i>Finite Element Modelling</i> ) .....	25
III.5.1.  Pembuatan Fisik Sekat Melintang .....	26
III.5.2.  Pemilihan dan penentuan tipe elemen.....	27
III.5.3.  Penentuan material properties.....	27
III.5.4.  Pemodelan geometri sekat melintang .....	28
III.5.5.  Meshing.....	31
III.5.6.  Kondisi Batas .....	31

III.5.7.	Pembebanan .....	32
III.5.8.	Penyelesaian.....	35
III.5.10.	Konvergensi.....	35
III.6.	Analisa dan Pembahasan .....	40
III.7.	Penarikan Kesimpulan.....	40
III.8.	Bagan Alir .....	40
Bab IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	43
IV.1.	Perhitungan sekat bergelombang .....	43
IV.1.1.	Perhitungan dimensi variasi sudut sekat bergelombang .....	44
IV.2.	Perhitungan sekat melintang ( <i>transverse bulkhead</i> ) .....	47
IV.2.1.	Perhitungan Penumpu .....	49
IV.3.	Hasil Analisa .....	53
IV.4.	Pembahasan Hasil .....	59
IV.4.1.	Tegangan ( <i>stress</i> ) .....	59
IV.4.2.	Deformasi.....	60
IV.4.3.	Berat konstruksi .....	61
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	65
V.1.	Kesimpulan.....	65
V.2.	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	.....	67
LAMPIRAN		
HASIL UJI KONVERGENSI		
HASIL ANALISA DEFORMASI		
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. Elemen sekat bergelombang .....	5
Gambar II. 2. Sekat kedap melintang .....	10
Gambar II. 3. Sekat kedap bergelombang .....	11
Gambar II. 4. Tegangan yang timbul pada penampang A-A.....	12
Gambar II. 5. Tegangan normal.....	13
Gambar II. 6. Elemen Solid 20 node .....	21
Gambar III. 1. <i>General Arrangement Oil Tanker 17.500 LTDW</i> .....	24
Gambar III. 2. Dimensi <i>Corrugated Bulkhead</i> .....	25
Gambar III. 3. Pemilihan tipe analisa .....	26
Gambar III. 4. Pemilihan tipe elemen.....	27
Gambar III. 5. <i>Material properties</i> .....	28
Gambar III. 6. Pembuatan <i>keypoint</i> .....	28
Gambar III. 7. Model 1 - <i>Corrugated Bulkhead</i> sudut 64.36 (existing).....	29
Gambar III. 8. Model 2 - <i>Corrugated Bulkhead</i> sudut 45 <sup>0</sup> .....	29
Gambar III. 9. Model 3 - <i>Corrugated Bulkhead</i> sudut 55 <sup>0</sup> .....	29
Gambar III. 10. Model 4 - <i>Corrugated Bulkhead</i> sudut 65 <sup>0</sup> .....	30
Gambar III. 11. Model 5 - <i>Transverse bulkhead</i> dengan penumpu.....	30
Gambar III. 12. Model 6 - <i>Transverse bulkhead</i> tanpa penumpu.....	30
Gambar III. 13. Penentuan ukuran elemen <i>meshing</i> .....	31
Gambar III. 14. Lokasi tumpuan pada sekat melintang.....	32
Gambar III. 15. Grafik persamaan tekanan pada sekat melintang.....	33
Gambar III. 16. <i>Function editor</i> .....	34
Gambar III. 17. Area pembebanan .....	34
Gambar III. 18. Proses solving .....	35
Gambar III. 19. Grafik konvergensi model ke-1 .....	36
Gambar III. 20. Grafik konvergensi model ke- 2 .....	37
Gambar III. 21. Grafik konvergensi model ke- 3 .....	37
Gambar III. 22. Grafik konvergensi model ke- 4 .....	38
Gambar III. 23. Grafik konvergensi model ke- 5 .....	39
Gambar III. 24. Grafik konvergensi model ke- 6 .....	39
Gambar III. 25. Ilustrasi nilai x .....	44
Gambar III. 26. Profil penegar.....	49
Gambar III. 27. profil penumpu.....	53
Gambar III. 28. Nilai tegangan pada <i>corrugated bulkhead existing</i> .....	53
Gambar III. 29. Deformasi <i>corrugated bulkhead existing</i> .....	54
Gambar III. 30. Nilai tegangan pada <i>corrugated bulkhead</i> sudut 45 <sup>0</sup> .....	54
Gambar III. 31. Deformasi <i>corrugated bulkhead</i> sudut 45 <sup>0</sup> .....	55
Gambar III. 32. Nilai tegangan pada <i>corrugated bulkhead</i> sudut 55 <sup>0</sup> .....	55
Gambar III. 33. Deformasi <i>corrugated bulkhead</i> sudut 55 <sup>0</sup> .....	56
Gambar III. 34. Nilai tegangan pada <i>corrugated bulkhead</i> sudut 65 <sup>0</sup> .....	56
Gambar III. 35. Deformasi <i>corrugated bulkhead</i> sudut 65 <sup>0</sup> .....	57
Gambar III. 36. Nilai tegangan pada <i>tranverse bulkhead</i> tanpa penumpu .....	57

Gambar III. 37. Deformasi <i>transverse bulkhead</i> dengan penumpu.....	58
Gambar III. 38. Nilai tegangan pada <i>tranverse bulkhead</i> tanpa penumpu .....	58
Gambar III. 39. Deformasi <i>transverse bulkhead</i> tanpa penumpu.....	59
Gambar IV. 1. Konversi panjang elemen sekat .....	47
Gambar IV. 2. Grafik perbedaan nilai tegangan .....	60
Gambar IV. 3. Grafik Nilai deformasi masing-masing model .....	61
Gambar IV. 4. Grafik total berat masing-masing konstruksi sekat .....	62
Gambar IV. 5. Grafik perbandingan Berat konstruksi dan Tegangan .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Tabulasi Perhitungan Momen Inersia .....	7
Tabel II. 2. Lebar efektif $e_m$ gading-gading dan penumpu .....	8
Tabel III. 1. Ukuran utama kapal.....	24
Tabel III. 2. Arah tumpuan beban.....	32
Tabel III. 3. Tekanan statis tangki .....	33
Tabel III. 4. Hasil konvergensi model ke- 1 .....	36
Tabel III. 5. Hasil konvergensi model ke- 2 .....	36
Tabel III. 6. Hasil konvergensi model ke- 3 .....	37
Tabel III. 7. Hasil konvergensi model ke- 4 .....	38
Tabel III. 8. Hasil konvergensi model ke- 5 .....	38
Tabel III. 9. Hasil konvergensi model ke- 6 .....	39
Tabel III. 10 Perhitungan profil L .....	48
Tabel III. 11. Interpolasi lebar pelat efektif.....	51
Tabel III. 12. Perhitungan profil T .....	52
Tabel IV. 1. Perbandingan tegangan masing-masing model dengan tegangan ijin.....	60
Tabel IV. 2. Perhitungan berat <i>corrugated bulkhead</i> .....	61
Tabel IV. 3. Perhitungan berat <i>transverse bulkhead</i> .....	62



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang Masalah**

Kapal merupakan alat transportasi laut yang mampu membawa muatan berupa barang dan penumpang dengan jumlah yang besar dibanding transportasi lainnya. Berdasarkan dari fungsi kapal tersebut khususnya pada kapal niaga sangat diperhatikan dari segi kekuatan konstruksi untuk bisa beroperasi dengan waktu yang lama serta dengan lingkungan yang cepat berubah. Bentuk dan konstruksi kapal mempunyai fungsi tertentu sesuai muatan yang dibawa dan rute pelayaran. Sistem konstruksi kapal pada umumnya dibedakan menjadi 3 bagian yaitu sistem konstruksi melintang (*tranverse framing system*), sistem konstruksi memanjang (*longitudinal framing system*) dan sistem konstruksi campuran (*mixed framing system*). Konstruksi badan kapal terdiri dari beberapa bagian komponen utama diantaranya lunas (*keel*), dasar ganda (*double bottom*), gading-gading (*frame*), geladak (*deck*) dan sekat kedap air (*watertight bulkhead*). Sekat kedap air merupakan sekat yang membatasi atau membagi kapal menjadi beberapa bagian kompartemen, kedap terhadap air pada suatu tekanan tertentu. Biasanya persoalan utama dalam konstruksi kapal adalah membuat suatu konstruksi yang kuat dan kokoh dengan berat konstruksi yang sesedikit mungkin. Karena dengan konstruksi yang kuat tetapi ringan akan mendapatkan ruang muat yang lebih besar khususnya pada kapal niaga.

Dengan berkembangnya teknologi di bidang konstruksi kapal, pemilihan desain dan material sesuatu yang sangat dipertimbangkan oleh perusahaan galangan kapal dalam dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya adalah sekat kedap air. Pada kapal tangki, sekat kedap air merupakan sekat pemisah antara muatan satu dengan muatan lainnya. Sekat kedap ini terdiri dari dua bagian, yaitu sekat kedap melintang dan sekat kedap membujur. Biasanya paling sering dijumpai adalah sekat melintang (*tranverse bulkhead*) yang terdiri dari pelat berpenegar atau pelat yang diberi penguat penegar (*stiffener*). Beberapa tahun belakangan sudah banyak kapal yang menggunakan sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*), khususnya kapal tanker. Perubahan komponen konstruksi tersebut akan berpengaruh terhadap komponen lainnya, pasti ada kekurangan dan kelebihan masing-masing dari kedua sekat tersebut terutama dari segi kekuatannya. Berdasarkan perbedaan kekuatan inilah penulis melakukan analisis pada

kedua sekat tersebut dan memilih judul “Analisa Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga”.

### **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan maka rumusan masalah yang timbul adalah :

1. Bagaimana menentukan nilai modulus penampang dari *transverse bulkhead* ?
2. Bagaimana desain dimensi penegar pada *transverse bulkhead* ?
3. Bagaimana perbandingan kekuatan *corrugated bulkhead* dan *transverse bulkhead* menggunakan metode elemen hingga ?

### **I.3. Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mendapatkan modulus penampang dari *transverse bulkhead* kapal tanker.
2. Mengetahui dimensi penegar dan penumpu pada *transverse bulkhead*.
3. Mengetahui perbandingan kekuatan *corrugated bulkhead* dengan *transverse bulkhead* dengan metode elemen hingga.

### **I.4. Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini permasalahan difokuskan pada :

1. Analisa dilakukan pada konstruksi sekat melintang di ruang muat midship kapal tanker.
2. Pada *transverse bulkhead* jenis profil yang digunakan adalah profil L untuk penegar dan profil T untuk penumpu.
3. Analisa kekuatan konstruksi dilakukan dengan simulasi menggunakan *software Finite Elemen Method*.
4. Analisa dilakukan pada kondisi muatan penuh.
5. Variasi dilakukan pada *corrugated bulkhead* dengan sudut  $45^0$ ,  $55^0$ ,  $65^0$ .

### **I.5. Manfaat**

Adapun manfaat yang dapat diambil dari analisa ini adalah :

1. Manfaat bagi peneliti

Untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang perbedaan *corrugated bulkhead* dengan *transverse bulkhead*.

2. Manfaat bagi pembaca

Untuk menambah wawasan informasi dan wawasan berfikir mengenai konstruksi kapal dalam pembangunan kapal baru.

3. Manfaat bagi Ilmu pengetahuan

Untuk mengetahui gambaran umum penggunaan *corrugated bulkhead* dengan *transverse bulkhead* pada konstruksi kapal.

### **I.6. Hipotesis**

Adapun hipotesis dari analisa ini akan mendapatkan nilai tegangan konstruksi *corrugated bulkhead* yang lebih rendah dan mempunyai kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan *transverse bulkhead*.

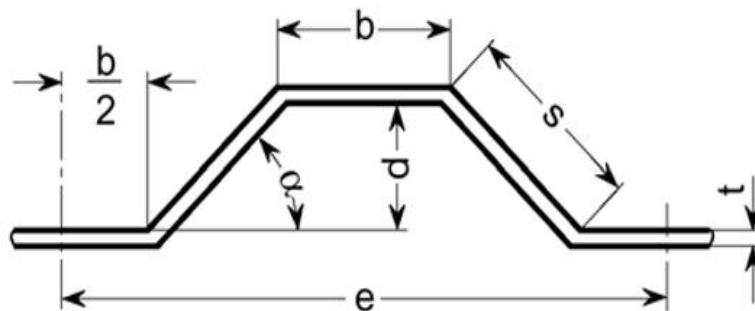
Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II STUDI LITERATUR

### II.1. Dasar Teori

#### II.1.1. Modulus Penampang Sekat bergelombang

Modulus penampang pada elemen *corrugated bulkhead* dapat ditentukan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2014 volume II tahun 2014. Modulus penampang sesungguhnya dari elemen sekat bergelombang dihitung sesuai rumus berikut :



Gambar II. 1. Elemen sekat bergelombang  
Sumber : BKI, 2014

$$W = t \cdot d ( b + s/3 )$$

II. 1

Dimana :

$e$  = lebar elemen (cm)

$b$  = lebar pelat hadap (cm)

$s$  = lebar pelat bilah (cm)

$d$  = jarak antara pelat hadap (cm)

$t$  = tebal pelat (cm)

(BKI , 2014)

#### II.1.2. Modulus Penampang sekat melintang

Perhitungan modulus *transverse bulkhead* dilakukan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia volume II tahun 2014. Modulus penampang penegar sekat tidak boleh kurang dari :

$$W = C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot P \quad [\text{cm}^3]$$

II. 2

dimana :

Cs = Besar koefisien yang bergantung pada jenis sekat tumpuan penegar dan jenis sekat

a = jarak antar penegar

l = panjang yang tidak ditumpu

p =  $9.81 \times h$  [kN/m<sup>2</sup>]

(BKI, 2014)

Penumpu pada *transverse bulkhead* dipasang sebagai penguat tambahan konstruksi sekat melintang. Modulus penampang dari penumpu ditentukan berdasarkan rumus Biro Klasifikasi Indonesia volume II tahun 2014 sebagai berikut :

$$W = c \cdot e \cdot l^2 \cdot p \cdot k \quad \text{II. 3}$$

Dimana :

c = 0.55

= 0,75 untuk balok, penumpu dan pelintang geladak yang ditumpu pada salah satu atau kedua ujungnya secara sederhana

e = diukur dari pusat ke pusat bidang yang tidak ditumpu yang berdekatan

l = panjang yang tidak ditumpu

p = beban sekat

k = faktor bahan

=  $\frac{235}{ReH}$

ReH = titik mulur nominal atas minimum [N/mm<sup>2</sup>]

(BKI, 2014)

### II.1.3. Modulus profil

Penentuan dimensi profil untuk penegar dan penumpu pada konstruksi *transverse bulkhead* selain menggunakan katalog adalah dengan menghitung modulus profil tersebut. Perhitungan modulus profil dapat dilakukan menggunakan rumus :

$$\text{Modulus (W)} = \frac{\text{Momen Inersia (I}_{NA})}{Z_{NA}} \quad \text{II. 4}$$



Dalam kasus ini, perhitungan momen Inersia tidak dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar ( $I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$ ) dan sebaliknya dilakukan dalam bentuk tabulasi seperti diperlihatkan pada Tabel II. 1.

Tabel II. 1. Tabulasi Perhitungan Momen Inersia

Part of Profile	Horizontal (b)	Vertical (h)	Area of Cross Section (F)	Distance of Center Gravity (d)	Momen of Area (F.d)	Momen of Inertia (F.d <sup>2</sup> )	Individual Moment of Inertia ( $\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$ )
I							
II							
III							
$\Sigma =$			$\Sigma_1$		$\Sigma_2$	$\Sigma_3$	$\Sigma_4$

I = Pelat pengikut

II = Pelat bilah

III = Pelat hadap

$Z_{NA}$  = Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)

$$= \Sigma_2 / \Sigma_1$$

$I_{xx}$  = Momen Inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)

$$= \Sigma_3 + \Sigma_4$$

$I_{NA}$  = Momen Inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)

$$= I_{xx} - \Sigma_1 * Z_{NA}^2$$

W = Modulus Penampang Profil

$$= I_{NA} / Z_{NA}$$

(Santosa, 2013)

Berdasarkan Tabel II. 1 diatas maka dapat ditentukan dimensi profil penegar dan penumpu pada konstruksi *transverse bulkhead*.

#### II.1.4. Lebar pelat efektif

Lebar pelat efektif "em" dari pelintang dan penumpu berdasarkan aturan Biro Kalsifikasi Indonesia volume II tahun 2014 dapat ditentukan menurut Tabel II. 2 dengan mempertimbangkan jenis beban.

Tabel II. 2. Lebar efektif  $e_m$  gading-gading dan penumpu

$l/e$	0	1	2	3	4	5	6	7	$\geq 8$
$e_{m1}/e$	0	0,36	0,64	0,82	0,91	0,96	0,98	1,00	1,00
$e_{m2}/e$	0	0,20	0,37	0,52	0,65	0,75	0,84	0,89	0,90

dimana :

$e_{m1}$  digunakan bila penumpu dibebani dengan beban yang terdistribusi merata atau lainnya tidak kurang dari 6 beban tunggal dengan jarak yang sama.

$e_{m2}$  digunakan bila penumpu dibebani dengan 3 atau kurang beban tunggal.

Nilai antara dapat diperoleh secara interpolasi langsung.

$l$  = panjang antara titik-titik nol dari kurva momen lengkung, yaitu panjang tidak ditumpu pada kasus penumpu tumpuan bebas dan  $0,6 \times$  panjang tidak ditumpu pada kasus tumpuan jepit pada kedua ujung penumpu

$e$  = lebar pelat yang ditumpu, diukur dari pusat ke pusat bidang tidak ditumpu yang berdekatan

(BKI, 2014)

## II.1.5. Tekanan Statis Tangki

Tekanan statis yang terjadi pada tangki

$$P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 5}$$

Dimana :

$z_{tk}$  = jarak vertikal dari titik tertinggi tangki ke pusat beban, dalam meter

$\rho$  = massa jenis fluida pada tangki, tidak boleh kurang dari

0.9 untuk fluida pada kekuatan lelah

1.025 untuk lainnya, dalam  $\text{ton/m}^3$

$g$  = percepatan gravitasi,  $9.81 \text{ m/s}^2$

Tekanan statis tangki ketika pengisian penuh atau pengisian selama penggantian air *ballast*

$$P_{in-air} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{air} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 6}$$

Dimana :

$z_{air}$  = jarak vertikal dari tinggi paling atas *overflow* ke pusat beban, dalam meter

$\rho$  = massa jenis air laut,  $1.025 \text{ ton/m}^3$

$g$  = percepatan gravitasi,  $9.81 \text{ m/s}^2$

Tinggi overflow yang dipasang pada kapal tanker adah 2.5 meter.

Tes tekanan pada tangki, diambil nilai paling besar dengan persyaratan dibawah ini :

$$P_{in-test} = \rho_{sw} \cdot g \cdot Z_{test} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 7}$$

$$P_{in-test} = \rho_{sw} \cdot g \cdot Z_{test} + P_{valve} \text{ kN/m}^2 \quad \text{II. 8}$$

Dimana :

$Z_{test}$  = jarak vertikal ke pusat beban, dipilih jarak yang paling besar dari

a) Tinggi overflow

b) 2.4 diatas tangki

$\rho$  = massa jenis air laut, 1.025 ton/m<sup>3</sup>

$g$  = percepatan gravitasi, 9.81 m/s<sup>2</sup>

$P_{valve}$  = Pengaturan katup pelepas tekanan

(CSR, 2012)

## II.2. Tinjauan Pustaka

### II.2.1. Konstruksi Sekat melintang

Pemasangan sekat melintang dapat dijumpai pada semua tipe kapal dan menjadi persyaratan biro klasifikasi, sedangkan untuk memanjang umumnya hanya dijumpai pada kapal-kapal tertentu saja. Misalnya kapal pengangkut muatan cair, dan kapal pengangkut muatan curah.

Sekat-sekat pada bangunan kapal ditinjau dari fungsinya dapat digolongkan menjadi beberapa golongan, yaitu sekat kedap air, sekat kedap minyak, sekat biasa yang hanya digunakan untuk membagi ruang bagi keperluan akomodasi, dan sekat berlubang untuk mengatasi permukaan bebas zat cair. Dari keempat jenis tersebut, sekat kedap air merupakan jenis sekat yang paling penting, kalau ada kapal bermuatan minyak, sekat kedap minyak yang memegang peranan utama. Sekat kedap air mempunyai tiga fungsi utama, yaitu membagi badan kapal menjadi ruangan-ruangan yang kedap air, menambah kekuatan melintang kapal, dan mencegah menjalarnya api saat terjadi kebakaran.

#### 1. Sekat melintang (*tranverse bulkhead*)

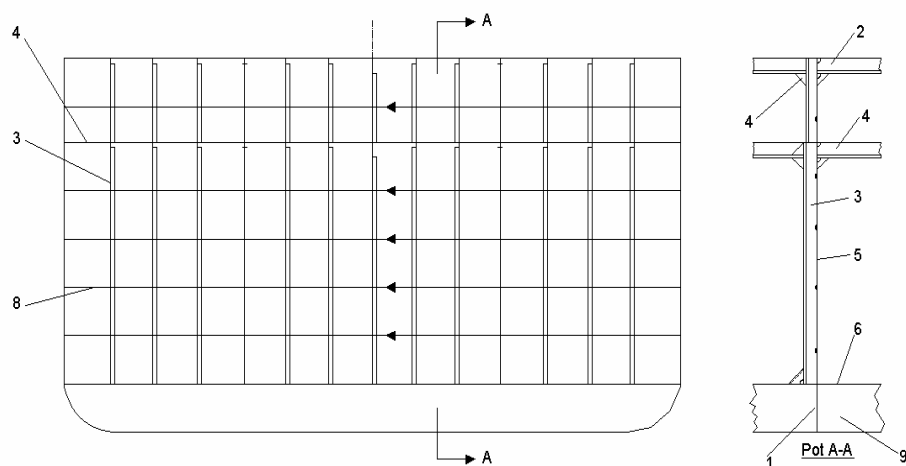
Peraturan tentang jumlah sekat melintang kedap air pada kapal-kapal tercantum dalam buku peraturan biro klasifikasi. Pada kapal-kapal paling sedikit harus mempunyai tiga sekat untuk kamar mesin yang terletak di belakang atau empat sekat untuk kamar mesin yang sekat depan kamar mesin, sekat belakang kamar mesin, dan sekat buritan. Untuk kapal dengan kamar mesin di belakang sekat buritan dapat menggantikan sekat belakang kamar mesin. Banyaknya sekat kedap air yang harus dipasang pada kapal tergabung pada panjang ketidaktenggelaman

atau peraturan yang diberikan biro klasifikasi yang tergantung pada panjang kapal. Jarak sekat melintang kedap air sedapat mungkin dibuat sama dan tidak perlu kurang dari lebar kapal. Untuk kapal-kapal pengangkut muatan berat (misalnya biji tambang) panjang ruang muat tidak boleh melebihi 30 m.

Sekat melintang yang membatasi tangki ceruk haluan dan ruang muat disebut sekat ceruk haluan dan pada umumnya disebut sekat tubrukan. Disebut sekat tubrukan karena berfungsi untuk melindungi bagian haluan kapal jika bertubrukan dengan benda lain. Letak sekat ini ditentukan oleh biro klasifikasi dan merupakan fungsi panjang kapal.

Sekat melintang kedap air yang dipasang pada bagian buritan kapal disebut sekat buritan, karena selain untuk membatasi tangki ceruk buritan dan ruang muat ruang mesin juga berfungsi sebagai pegangan ujung depan tabung poros baling-baling. Sekat tabung buritan umumnya diletakkan paling sedikit pada jarak tiga kali jarak gading, diukur dari ujung dengan boss poros baling-baling. Sekat melintang yang lain adalah sekat yang membatasi kamar mesin dengan ruang muat.

Pada umumnya sekat-sekat dibuat dari beberapa lajur pelat yang disusun secara mendatar sampai geladak lambung timbul. Untuk penguatan pelat sekat dipasang penegar-penegar yang dipasang secara mendatar. Di samping itu sekat melintang dapat pula dibuat dari pelat bergelombang tanpa penegar. Ujung-ujung penegar dapat diikat dengan pelat lutut, dengan mengelaskan langsung pada geladak dan dasar ganda atau membiarkan penegar tanpa pengikatan kecuali penegar yang dihubungkan dengan penumpu geladak dan penumpu samping alas. Cara terakhir sekat pada rumah geladak (Djaya, 2008). Konstruksi sekat kedap air dapat dilihat pada Gambar II. 2 di bawah ini.

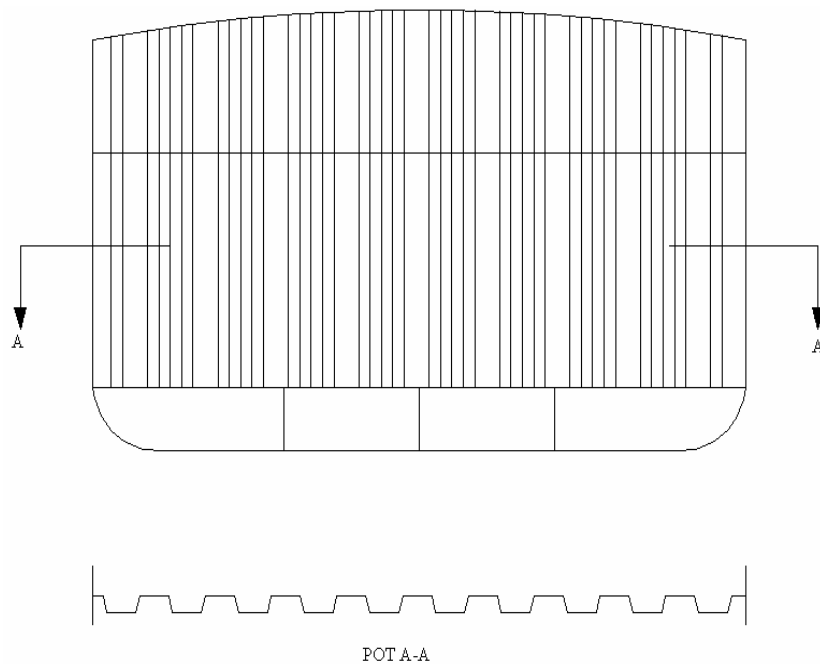


Gambar II. 2. Sekat kedap melintang  
Sumber : Djaya, 2008

1. Lutut
2. Penumpu geladak
3. Penegar sekat
4. Geladak kedua
5. Sekat kedap air
6. Dasar ganda
7. Wrang kedap air
8. Sambungan pelat sekat
9. Penumpu samping

## 2. Sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*)

Dengan adanya muatan yang bermacam-macam jenisnya, di perlukan pembagian ruangan kapal yang makin efisien. Muatan minyak memerlukan tangki-tangki yang mudah untk dibersihkan. Untuk ini, dipakai sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*), yaitu jenis sekat yang tidak memiliki penegar-penegar. Sekat ini terdiri dari beberapa bagian elemen pelat yang mempunyai lekukan atau gelombang dan disambung dengan sistem pengelasan. Ketebalan sekat bergelombang tidak boleh kurang dari persyaratan yang ditentukan untuk tebal pelat sekat rata karena pada sekat bergelombang tidak memiliki penegar (Djaya, 2008). Konstruksi sekat bergelombang diperlihatkan seperti pada Gambar II. 3.



Gambar II. 3. Sekat kedap bergelombang  
Sumber : Djaya, 2008

Keuntungan pemakaian sekat bergelombang antara lain adalah :

- Penghematan berat yang relatif besar, bila dibandingkan dengan sekat rata berpenegar,
- Pengelasannya berkurang.
- Mempunyai konstruksi yang lebih sederhana,
- Sekat lebih mudah dibersihkan, terutama pada kapal-kapal tangki,
- Mempermudah pemuatan barang pada kapal-kapal kargo.

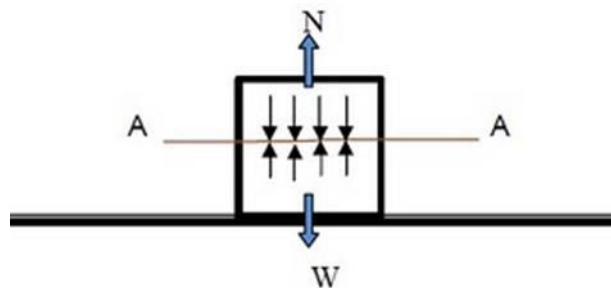
### II.2.2. Tegangan

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Efek-efek gaya dan momen yang bekerja pada balok adalah (a) memberikan tekukan tegak lurus sumbu longitudinal batang, dan (b) menghasilkan tegangan normal maupun geser pada setiap penampang batang yang tegak lurus sumbu batang (Gere dan Timosenko, 1987).

#### a. Tegangan Normal

Apabila suatu gaya dalam ditahan oleh penampang batang maka didalam penampang batang tersebut akan mengalami adanya tegangan. Tegangan ialah besarnya gaya yang diberikan per satuan luas penampang Hukum Newton pertama tentang aksi dan reaksi, bila sebuah balok terletak di atas lantai, balok akan memberikan aksi pada lantai, demikian pula sebaliknya lantai akan memberikan reaksi yang sama, sehingga benda dalam keadaan setimbang. Gaya aksi sepusat ( $F$ ) dan gaya reaksi ( $F''$ ) dari bawah akan bekerja pada setiap penampang balok tersebut. Jika kita ambil penampang A-A dari balok, gaya sepusat ( $F$ ) yang arahnya ke bawah, dan di bawah penampang bekerja gaya reaksinya ( $F''$ ) yang arahnya ke atas.

Pada bidang penampang tersebut, molekul-molekul di atas dan di bawah bidang penampang A-A saling tekan menekan, maka setiap satuan luas penampang menerima beban sebesar  $F/A$ .



Gambar II. 4. Tegangan yang timbul pada penampang A-A

Sumber : [www.scribd.com](http://www.scribd.com)



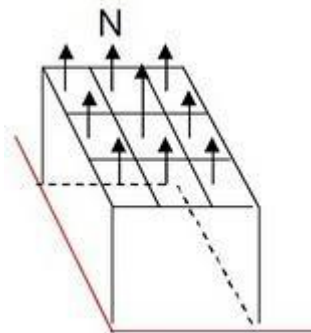
Secara matematika konsep tegangan (Stress) dituliskan :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

F = Gaya tekan/tarik dalam newton  
A = luas penampang dalam m<sup>2</sup>  
 $\sigma$  = Tegangan /stress dalam Nm<sup>-2</sup>

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal pada sebuah titik. Jika gaya diukur dalam N, sedangkan luas penampang diukur dalam m<sup>2</sup>, maka satuan tegangan adalah N/m<sup>2</sup> atau dyne/cm<sup>2</sup>. Gaya yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya tersebut berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring ke arah bidang yang berpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan. Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal atau tegak lurus terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan sigma.

Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu benda sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar dengan sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial.



Gambar II. 5. Tegangan normal

Sumber : [www.scribd.com](http://www.scribd.com)

#### b. Tegangan Von mises

Tegangan *von mises* merupakan tegangan yang terjadi pada internal struktur yang dapat digunakan sebagai referensi kekuatan suatu struktur yang dianalisa berdasarkan material properties struktur tersebut kriteria *von mises* , juga dikenal sebagai kriteria energi distorsi

maksimum, teori tegangan geser oktahedral sering digunakan untuk memperkirakan yield pada bahan ulet. Von Mises kriteria menyatakan bahwa kegagalan terjadi ketika energi distorsi mencapai energi yang sama untuk yield/ kegagalan dalam ketegangan uniaksial.

*Von mises* (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua *deviator* tegangan melampaui harga kritis tertentu. Dengan kata lain luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk.

Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh *von Mises* dapat juga diformulasikan dalam *von Mises stress* atau *equivalent tensile stress*,  $\sigma_v$ , nilai tegangan scalar dapat dihitung dari tensor tegangan. Dalam kasus ini, material dikatakan mulai luluh ketika tegangan von Mises mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength*. Tegangan *von Mises* digunakan untuk meprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial.

### II.2.3. Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Regangan adalah bagian dari deformasi yang dideskripsikan sebagai perubahan relative dari partikel-partikel di dalam benda yang bukan merupakan benda kaku. Defenisi lain dari regangan bias berbeda-beda tergantung pada bidang apa istilah tersebut digunakan atau dari dan ke titik mana regangan terjadi. Tegangan diberikan pada materi dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan materi terhadap tegangan. Pada daerah elastis besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan disebut modulus elastisitas atau modululus young (Popov, 1993). Secara matematis, regangan dapat ditulis sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

II. 9

Dimana:

$\delta$  = Pertambahan panjang total (m)

$L$  = Panjang mula mula (m)

$\varepsilon$  = Regangan Normal

#### II.2.4. Modulus Elastisitas

Jika sebuah material diberi beban dan mengalami regangan tetapi bila beban dihilangkan material tersebut kembali ke bentuk semula maka hal ini dikatakan elastis. Elastisitas ini berada di daerah elastis, sebelum titik luluh (*yield point*). Selama material masih berada di daerah elastis, jika beban dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk semula. Bila suatu material mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu atau batas elastis maka akan terjadi perubahan bentuk yang bersifat sementara. Menentukan Modulus Young dari suatu bahan tidak terlepas dari sifat elastisitas suatu benda dan batas elastisnya. Elastisitas adalah sifat dimana benda kembali pada ukuran dan bentuk awalnya ketika gaya-gaya yang mengubah bentuknya dihilangkan. Batas elastis suatu benda adalah tegangan terkecil yang akan menghasilkan gangguan permanen pada benda. Ketika diberikan tegangan melebihi batas ini, benda tidak akan kembali persis seperti keadaan awalnya setelah tegangan tersebut dihilangkan (Tipler, 1998).

Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada material, material akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah. Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu, sehingga material akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan di bawah kekuatan luluh, material akan kembali ke bentuk semula. Hal ini dikarenakan adanya sifat elastis pada bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula. Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh *modulus elastisitas* (Popov, 1993).

Modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan. Sehingga hubungan antara Tegangan ( $\sigma$ ) dan Regangan ( $\delta$ ) dapat ditulis dalam persamaan modulus elastisitas ( $E$ ) berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana:

$E$  = Modulus elastisitas

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan

## II.2.5. Sifat Mekanik Bahan

### 1. Elastisitas

Sifat mekanik material didefinisikan sebagai ukuran kemampuan material untuk menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, struktur molekul berada dalam keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan tekanan, pemotongan, penempaan, pengecoran dan pembengkokan mengakibatkan material mengalami tegangan. Hampir semua benda teknik memiliki sifat elastisitas. Suatu system struktur diperuntukan mengemban fungsi tertentu, sekaligus menahan pengaruh gaya luar yang ada. Apabila gaya luar yang menghasilkan perubahan bentuk (*deformation*) kemudian gaya tersebut dilepas, maka kembali ke bentuk semula, karena elastisitas bahan (Popov, 1996).

### 2. Deformasi

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut sebagai deformasi. Deformasi ada dua macam, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban dihilangkan, maka material akan kembali seperti ukuran dan bentuk semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas. (Hibeller, 1997)

### 3. Yield Point

Jika beban yang bekerja pada material diteruskan hingga diluar batas elastis akan terjadi perpanjangan atau perpendekan permanen secara tiba-tiba. Sifat elastis pada kenyataannya masih terjadi sedikit di atas batas proporsional, namun hubungan antara tegangan dan regangan tidak linear dan umumnya batas daerah elastis dan daerah plastis sulit untuk ditentukan. Salah satu kekuatan yang biasanya diketahui dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*). Kekuatan luluh (*yield strength*) merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis (Dieter, 1993).

#### 4. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan beban menahan atau menerima beban atau tegangan tarik sampai putus. Kekuatan tarik suatu bahan dapat ditetapkan dengan membagi gaya maksimal dengan luas penampang mula (Popov, 1996).

#### 5. Keuletan

Menyatakan energi yang diserap oleh suatu bahan sampai titik patah. Keuletan adalah kemampuan atau kapasitas bahan untuk menyerap energi sampai patah dengan suatu retakan melintang. Jumlah energi yang diserap setiap satuan luas dari retakan adalah tetap untuk material yang ditentukan (Popov, 1996).

#### 6. Kekerasan

Yaitu adanya daya tahan suatu bahan atau permukaan bahan terhadap penetrasi atau indentasi bahan lain yang lebih keras dengan bentuk tertentu dibawah pengaruh gaya tertentu (Popov, 1996)

### II.2.6. Tekanan Hidrostatik

Tekanan adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu permukaan bidang dan dibagi luas permukaan bidang tersebut. Secara matematis, persamaan tekanan dituliskan sebagai berikut.

$$p = F / A \quad \text{II. 11}$$

dengan:

$F$  = gaya (N),

$A$  = luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

$p$  = tekanan ( $\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pascal}$ ).

Persamaan diatas menyatakan bahwa tekanan  $p$  berbanding terbalik dengan luas permukaan bidang tempat gaya bekerja. Jadi, untuk besar gaya yang sama, luas bidang yang kecil akan mendapatkan tekanan yang lebih besar daripada luas bidang yang besar.

Tekanan Hidrostatik adalah tekanan yang terjadi di bawah air. Tekanan hidrostatik disebabkan oleh fluida tak bergerak. Tekanan hidrostatik yang dialami oleh suatu titik di dalam fluida diakibatkan oleh gaya berat fluida yang berada di atas titik tersebut. Jika besarnya tekanan hidrostatik pada dasar tabung adalah  $p$ , menurut konsep tekanan, besarnya  $p$  dapat dihitung dari perbandingan antara gaya berat fluida ( $F$ ) dan luas permukaan bejana ( $A$ ) (Halliday dan resnick, 1985) .

Gaya berat fluida merupakan perkalian antara massa fluida dengan percepatan gravitasi bumi. Volume fluida di dalam bejana merupakan hasil perkalian antara luas permukaan bejana

(A) dan tinggi fluida dalam bejana (h). Oleh karena itu, persamaan tekanan di dasar bejana akibat fluida setinggi (h) dapat dituliskan menjadi

$$p = \rho h g \quad \text{II. 12}$$

Jika tekanan hidrostatik dilambangkan dengan  $p_h$ , persamaannya dituliskan sebagai berikut.

$$p_h = \rho g h \quad p_h = \text{tekanan hidrostatik (N/m}^2\text{),}$$

$$\rho = \text{massa jenis fluida (kg/m}^3\text{),}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{), dan}$$

$$h = \text{kedalaman titik dari permukaan fluida (m).}$$

### II.2.7. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Keunggulan dari metode ini adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks, dan untuk beberapa permasalahan metode ini mungkin adalah satu-satunya cara. Pengembangan metode elemen hingga pada mekanika struktur biasanya berdasar pada prinsipal energi seperti prinsipal kerja virtual dan juga prinsipal total energi potensial minimum. Dalam aplikasinya, obyek atau sistem yang ingin diteliti diwakilkan secara geometris dengan model yang sama dimana terdiri dari kelipatan, sambungan, penyederhanaan dari daerah deskripsi. Persamaan keseimbangan dalam kaitannya dengan pertimbangan fisis yang dapat digunakan, seperti hubungan kecocokan dan konstitutif, diaplikasikan pada tiap elemen, sehingga terbentuklah sebuah sistem persamaan. Sistem persamaan ini kemudian diselesaikan menggunakan teknik linear aljabar atau perhitungan numerik non-linear, sebagaimana pantas. Keakuratan metode elemen hingga dapat ditingkatkan dengan cara menyempurnakan mesh pada model dengan menambahkan elemen dan nodes. Metode elemen hingga biasanya digunakan untuk menentukan tegangan dan regangan dari benda dan sistem mekanikal. Metode elemen hingga dapat menyelesaikan persoalan dengan sistem kompleks yang dimana tidak dapat diselesaikan dengan perhitungan secara analitis.

Persoalan perancangan dapat diselesaikan dengan cara matematis dan numeris. Untuk benda-benda yang mempunyai bentuk yang tidak teratur (elemen isoparametrik), penyelesaiannya akan sulit menggunakan cara matematis. Sehingga perlu digunakan cara numerik, yang dalam perkembangannya disebut sebagai Metode Elemen Hingga (*Finite Elements Method*).

Bila suatu kontinu dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil (subregion) maka bagian-bagian kecil ini disebut elemen hingga. Proses pembagian suatu kontinu menjadi elemen hingga ini dikenal sebagai proses pembagian (deskritisasi), sehingga elemen hingga merupakan pendekatan bagian demi bagian dengan menggunakan polinomial yang mana masing-masing terdefinisi pada daerah (elemen) yang kecil dan dinyatakan dalam harga-harga titik simpul dari fungsi tersebut (Robert D.Cook, 1990).

Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan kontinunya. Metode ini menjadi suatu solusi permasalahan yang sering dijumpai dalam dunia teknik seperti perpindahan kalor, mekanika fluida, analisa struktur, mekanika benda pejal, sampai dengan getaran. Tujuan utama analisis dengan menggunakan Metode Elemen Hingga adalah untuk memperoleh pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada suatu struktur (Weaver, 1993).

Apabila suatu konstruksi dikenai gaya seperti beban, tekanan, temperatur, dan kecepatan fluida dan panas maka akan timbul akibat-akibat seperti perubahan bentuk (*deformation*) tegangan, temperatur, tekanan, dan kecepatan fluida. Sifat distribusi dari akibat-akibat yang ditimbulkan dalam suatu benda tergantung pada karakteristik sistem gaya dan beban itu sendiri. Dalam metode elemen hingga akan dapat temukan distribusi dari akibat-akibat ini, yang dinyatakan dengan perpindahan (*displacement*).

Menurut Wirjosoedirdjo (1988), metode elemen hingga dapat digunakan dengan melakukan langkah- langkah sebagai berikut :

1. Diskritisasi dan memilih konfigurasi elemen. Langkah ini menyangkut pembagian benda menjadi sejumlah benda kecil yang sesuai yang disebut elemen-elemen hingga. Perpotongan antara sisi-sisi elemen dinamakan simpul atau titik simpul, dan antara elemen-elemen disebut garis simpul. Jumlah elemen yang digunakan akan semakin baik bila mendekati medium kontinum dan jenis elemen yang digunakan tergantung pada karakteristik rangkaian kesatuan dan idealisasi yang dipilih untuk digunakan seperti jenis elemen garis, elemen bidang, dan elemen ruang.
2. Memilih model atau fungsi pendekatan. Dalam langkah ini dipilih suatu pola atau bentuk untuk distribusi besaran yang tidak diketahui yang dapat berupa suatu perpindahan dan/atau tegangan untuk persoalan-persoalan tegangan-deformasi. Titik-titik simpul elemen memberikan titik strategis untuk penulisan fungsi-fungsi matematis yang menggambarkan bentuk distribusi dari besaran yang tidak diketahui

pada wilayah elemen. Fungsi matematis yang biasa digunakan biasanya adalah polinomial.

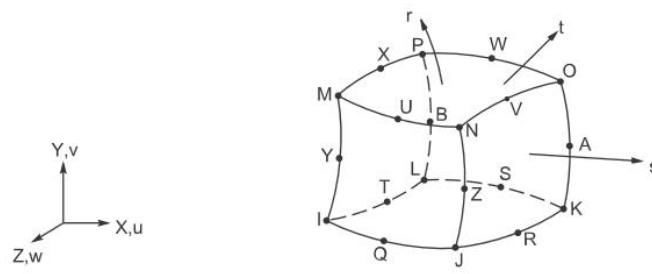
3. Menentukan hubungan regangan–perpindahan dan tegangan-regangan. Hukum tegangan regangan digunakan dalam analisis ini.
4. Menurunkan persamaan-persamaan elemen. Penurunan persamaan elemen dapat menggunakan metode energi dan metode residu berbobot. Penggunaan salah satu dari metode tersebut menghasilkan persamaan yang menggambarkan perilaku suatu elemen, yang dinyatakan sebagai  $[k]$ .
5.  $\{q\} = \{Q\}$  ; dengan  $[k]$  = matrik sifat elemen/kekakuan,  $\{q\}$  = vektor besaran yang tidak diketahui di simpul-simpul elemen/perpindahan simpul, dan  $\{Q\}$  = vektor parameter pemaksa simpul elemen/gaya simpul.
6. Perakitan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global atau persamaan rakitan dan mengenal syarat batas. Proses perakitan didasarkan pada hukum kekontinuan. Persamaan elemen yang diperoleh dijumlahkan untuk memperoleh persamaan global.
7. Memecahkan besaran-besaran primer yang tak diketahui
8. Memecahkan besaran-besaran penurunan atau sekunder
9. Interpretasi hasil-hasil

Analisa kekuatan sekat melintang dengan metode elemen hingga untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum (*maximum stress*) yang dibandingkan dengan nilai tegangan ijin (*permissible stress*) yang sesuai dengan standar regulasi biro klasifikasi.

- Elemen Solid 20 node

Pemilihan tipe elemen yang akan digunakan dalam pembuatan model konstruksi sekat melintang adalah tipe elemen solid dengan 20 node. Tipe elemen solid ini digunakan pada semua komponen konstruksi sekat melintang termasuk penegar pada *transverse bulkhead*. SOLID186 adalah elemen padat 3D 20-node orde tinggi yang menunjukkan perilaku perpindahan kuadrat. Unsur ini didefinisikan oleh 20 node yang memiliki tiga derajat kebebasan per node pada arah nodal x, y, dan z. Unsur ini mendukung plastisitas, hyperelasticity, creep, stress stiffening, defleksi besar, dan kemampuan regangan yang besar. Ini juga memiliki kemampuan formulasi campuran untuk mensimulasi deformasi bahan elastoplastik yang hampir tidak dapat dikompres, dan bahan hiperelastik yang sangat mampat. (Element Reference, 2010)





Gambar II. 6. Elemen Solid 20 node  
 Sumber : Element Reference, 2010

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB III METODOLOGI**

### **III.1. Metode**

Dalam tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah metode berbasis analisa perancangan konstruksi *transverse bulkhead* berdasarkan modulus penampang dari *corrugated bulkhead* sebagai data awal. Kemudian dilakukan perhitungan variasi sudut pada konstruksi *corrugated bulkhead* dan konstruksi *transverse bulkhead* dengan penumpu dan tanpa penumpu. Selanjutnya dilakukan permodelan dan analisis menggunakan software metode elemen hingga.

### **III.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Tahapan awal dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada. Kemudian timbul perumusan masalah yang akan diselesaikan pada pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu juga terdapat batasan masalah, Hal ini dimaksudkan agar topik pembahasan lebih detail dan tidak terlalu meluas serta memudahkan penulis dalam melakukan analisa masalah.

### **III.3. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai referensi guna menunjang penulisan tugas akhir ini. Referensi yang diperlukan mengenai perancangan model konstruksi *transverse bulkhead* dan *corrugated bulkhead* melalui berbagai media antara lain :

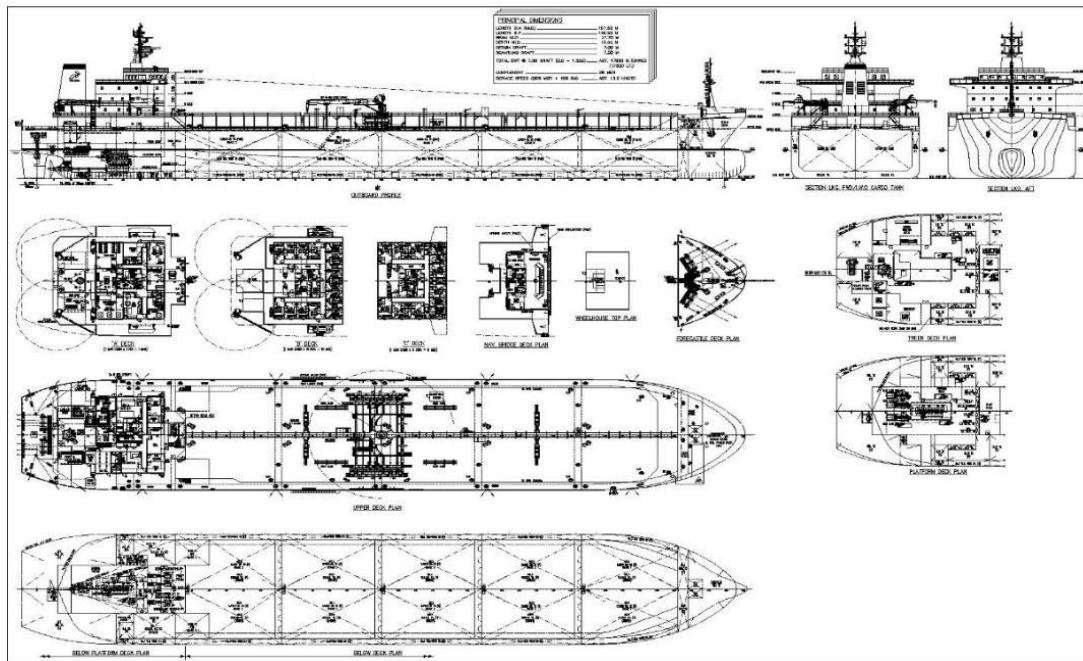
- a) Buku
- b) Jurnal
- c) Artikel
- d) Paper
- e) Tugas Akhir
- f) Internet

Untuk pencarian berbagai referensi dan literatur dilakukan di beberapa tempat, yaitu :

- a) Perpustakaan Pusat ITS
- b) Ruang Baca Fakultas Teknologi Kelautan ITS

### III.4. Pengumpulan Data

Kapal yang digunakan yang digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah kapal Oil Tanker 17500 LTDW. Kapal ini bermuatan minyak mentah (*crude oil*) dan menggunakan sistem konstruksi memanjang. Pada bagian ruang muat jenis sekat yang dipasang adalah *corrugated bulkhead*. Sebagai data awal yang dipilih adalah sekat antara ruang muat 3 dan 4 yang terletak pada bagian *midship* kapal.



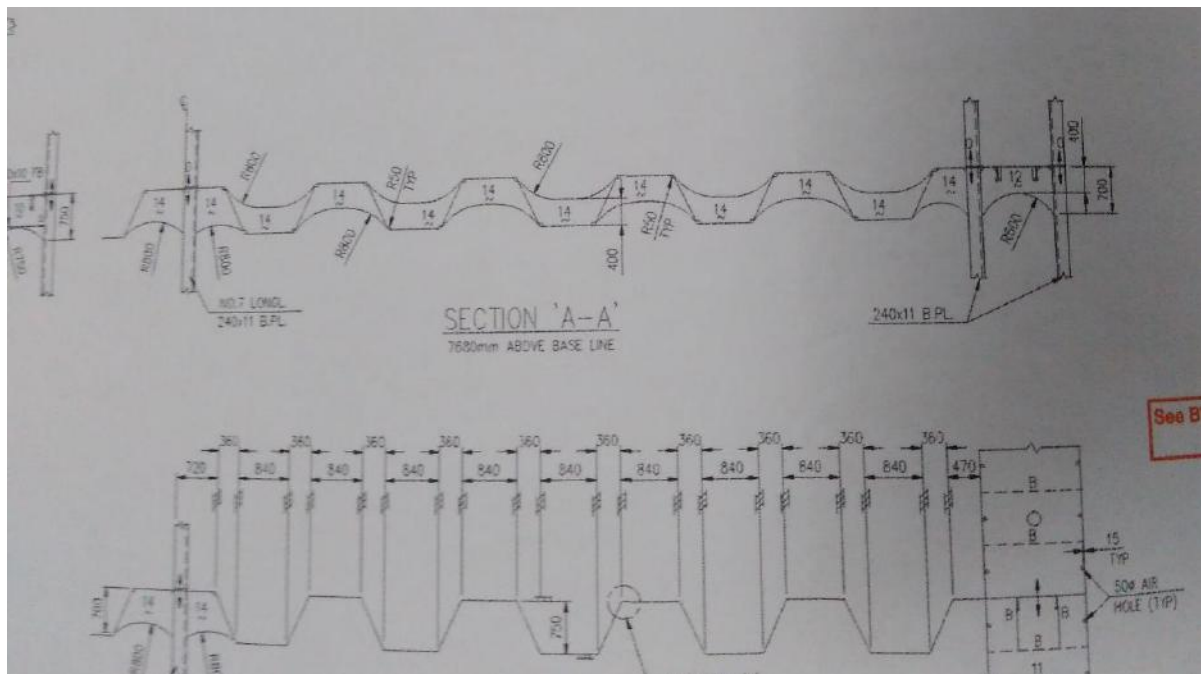
Gambar III. 1. General Arrangement Oil Tanker 17.500 LTDW

Data yang dibutuhkan untuk permodelan serta perhitungan diantaranya adalah ukuran utama kapal yang meliputi panjang antara gari tegak (Lpp), lebar (B), sarat (T), tinggi (H), dan kecepatan. Ukuran utama kapal sesuai dengan Tabel III. 1 dibawah ini.

Tabel III. 1. Ukuran utama kapal

Displacement ( $\Delta$ )	17.500 LTDW
Length of Overall (LOA)	157.5 m
Length Construction (L)	149.5 m
Breadth (B)	27.7 m
Depth (D)	12 m
Draft (T)	7 m
Service Speed ( $V_s$ )	13 knots

Selain ukuran utama kapal data yang paling penting untuk model adalah dimensi *corrugated bulkhead* kapal seperti ditunjukkan dari Gambar III. 2. Dimensi lebar ( $b$ ) = 840 mm, tinggi ( $d$ ) = 750 mm, Serta panjang untuk satu elemen *corrugated* ( $e$ ) = 2400 mm, dan tebal pelat ( $t$ ) = 14 mm. Pada bagian *centerline* terdapat sekat memanjang yang membagi *corrugated bulkhead* bagian *portsite* dan *starboard*. Ukuran lebar *wingtank* adalah 1.5 meter untuk bagian *portsite* dan tinggi double bottom adalah 1.85 meter. Jadi ukuran lebar *corrugated bulkhead* keseluruhan adalah 14.7 m dan tinggi 10.15 m. Berdasarkan data yang telah diperoleh maka dapat dilakukan konversi dimensi ke *transverse bulkhead* dengan modulus yang sama dan perhitungan beban sekat.



Gambar III. 2. Dimensi *Corrugated Bulkhead*

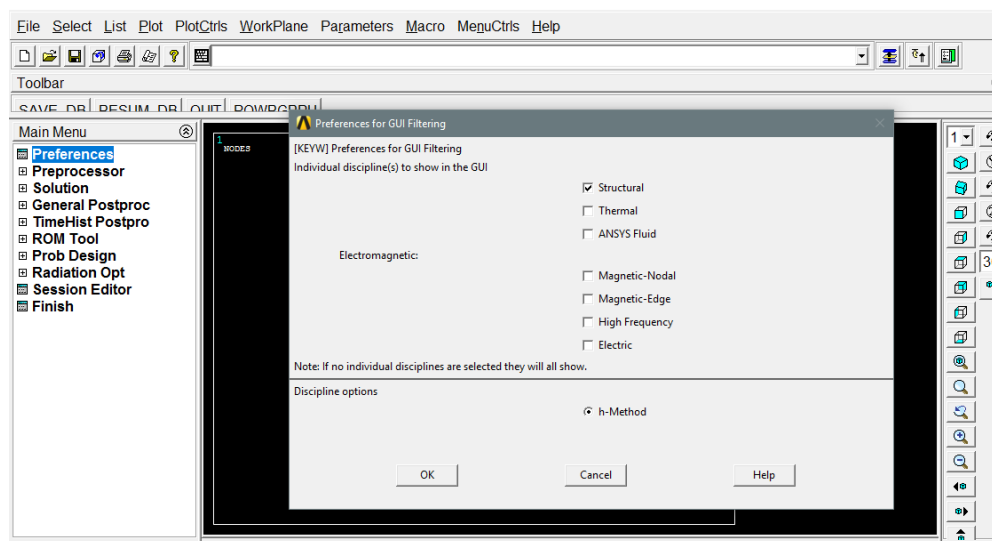
### III.5. Pemodelan Elemen Hingga (*Finite Element Modelling*)

Berdasarkan data *corrugated bulkhead* yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan dimensi *transverse bulkhead* dengan modulus yang sama. Variasi juga dilakukan pada *corrugated bulkhead* berupa beberapa sudut dengan panjang elemen dan modulus yang sama. Setelah mendapatkan dimensi yang memenuhi maka dilakukan pemodelan dengan *software finite element*.

Konstruksi sekat melintang dimodelkan dengan menggunakan finite element software. Secara umum pemodelan menggunakan software finite element terdiri dari beberapa tahapan.

Tahapan tahapan tersebut harus dilakukan secara benar supaya tidak terjadi kesalahan model dan hasil analisa yang dilakukan.

Pemilihan tipe analisa akan berpengaruh pada tipe element yang digunakan, pada jenis analisa yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tipe seperti structural, thermal, fluids dan CFD masing-masing tipe analisa ini mempunyai tipe elemen yang berbeda juga. Tipe analisa yang dipilih untuk menganalisa tegangan yang terjadi pada suatu kontruksi akibat beban berupa *pressure* adalah *structural* seperti ditunjukan pada Gambar III. 3.



Gambar III. 3. Pemilihan tipe analisa

### III.5.1. Pembuatan Fisik Sekat Melintang

Konstruksi sekat melintang kemudian dimodelkan meliputi model geometri, mendefenisikan sifat material, pembuatan elemen dan node. Pembuatan geometry merupakan tahapan awal dalam pemodelan dan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan geometry, antara lain :

#### a. Sistem kooordinat dan *Working plan*

Terdapat dua jenis koordinat yaitu koordinat global adalah sistem kooordinat kartesian XYZ yang berposros pada titik 0,0,0 dan koordinat lokal adalah koordinat yang bisa dipindah pada titik tertentu yang disesuaikan dengan koordinat global. Working plane merupakan bidang kerja yang kita gunakan yang mengacu pada koordinat lokal maka harus dilakukan penyelarasan dengan koordinat global.

b. *View*

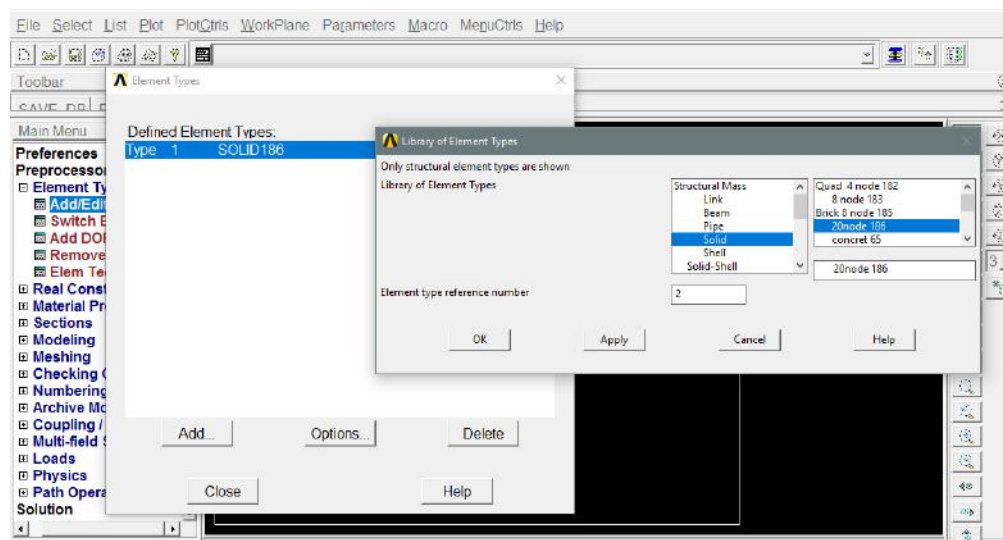
View merupakan sub –menu untuk memudahkan saat pemodelan ketika melihat tampilan sisi tertentu pada model.

c. *Unit*

Unit pada software finite elemen yang dipakai tidak memiliki deskripsi untuk satuan yang digunakan saat pemodelan maka satuan didefinisikan tersendiri oleh pemodel.

### III.5.2. Pemilihan dan penentuan tipe elemen

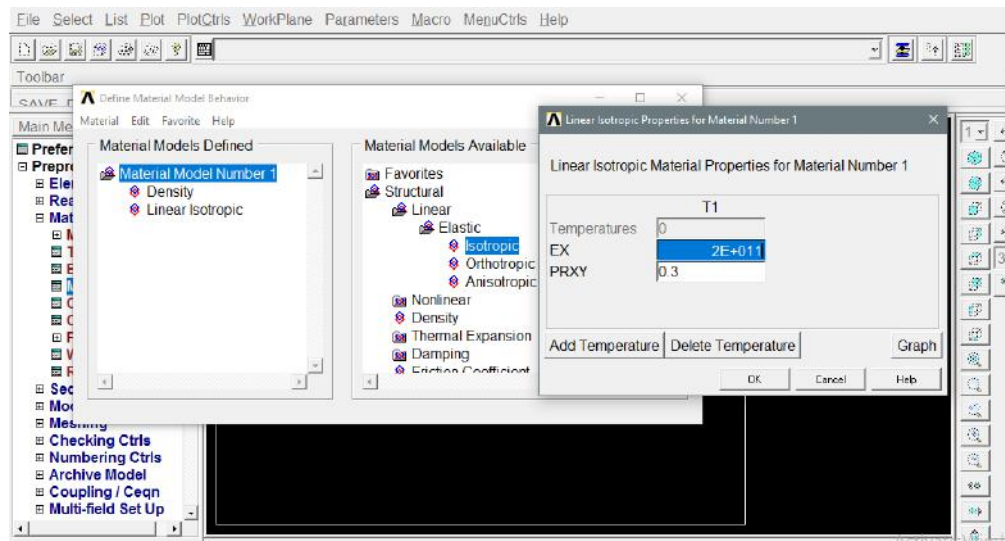
Tipe elemen pada *finite elemen software* dapat dikategorikan kedalam dua jenis yaitu tipe elemen 2D dan tipe elemen 3D. Elemen tersebut terdiri dari elemen titik, elemen garis, elemen are dan elemen solid. Semua elemen ini dapat dikombinasikan dalam pembuatan model geometry.



Gambar III. 4. Pemilihan tipe elemen

### III.5.3. Penentuan material properties

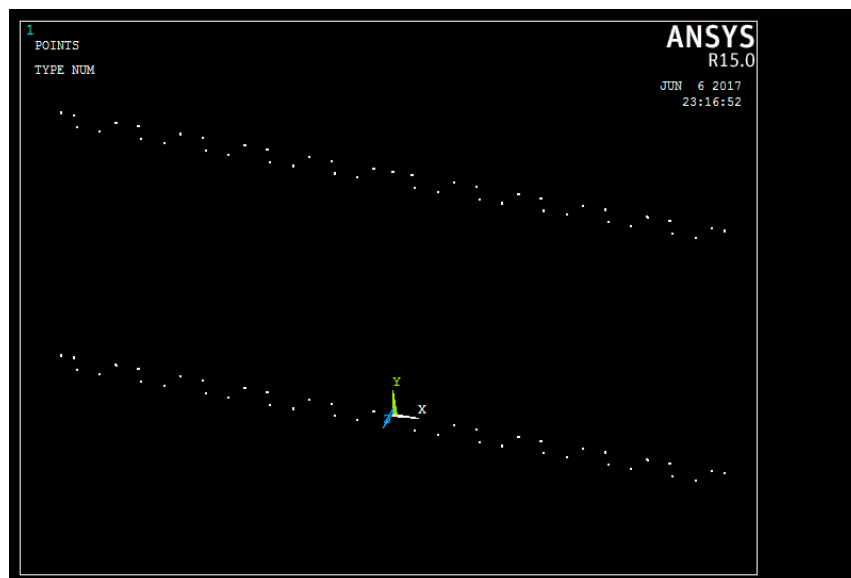
Tahap ini dilakukan pendefinisian sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat fisika material geometry sesuai dengan jenis material yang dipakai pada sekat melintang. Pada pemodelan konstruksi sekat melintang ini material yang digunakan adalah baja A36 dengan poison ratio 0.3. Sifat material yang dipilih adalah isotropik yaitu material dianggap seragam diseluruh arah dan bagian. Pemberian massa jenis material juga dilakukan yaitu pada tools *density* yaitu 7850 Kg/m<sup>3</sup> untuk material baja. Penentuan sifat dan jenis material ditunjukkan pada Gambar III. 5.



Gambar III. 5. *Material properties*

#### III.5.4. Pemodelan geometri sekat melintang

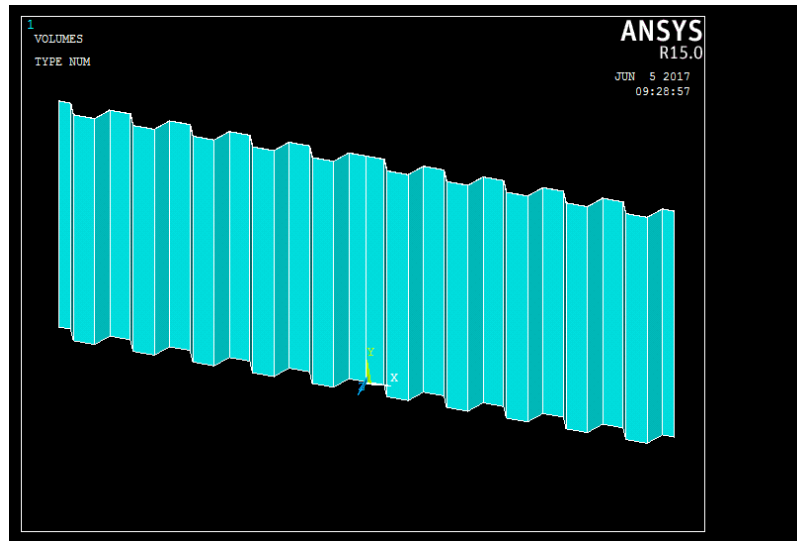
Pembuatan geometri sekat melintang dilakukan pada tools *modelling* dimulai dari penentuan setiap titik atau koordinat kemudian dijadikan area dan volume sehingga terbentuk geometri sekat. Pada *software finite element* terdapat juga tools operate yang memudahkan dalam pengerjaan seperti *extrude*, *booleans*, dan *scale*.



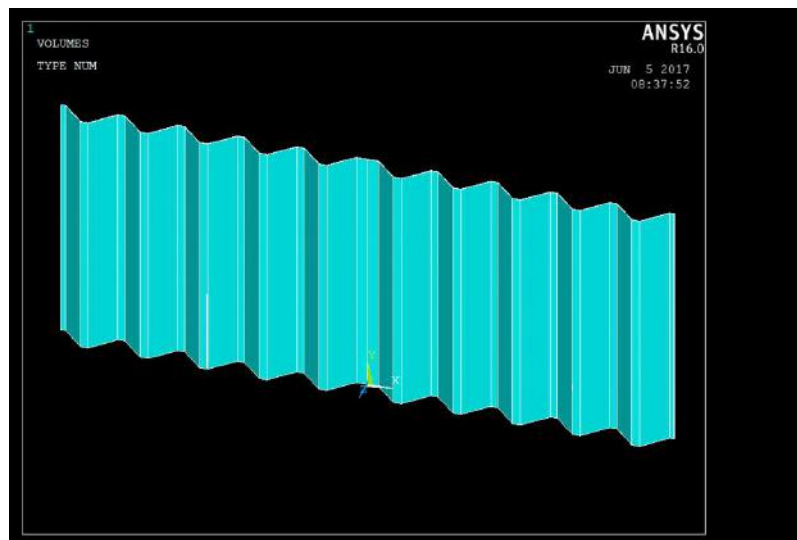
Gambar III. 6. Pembuatan *keypoint*

Pemodelan geometri sekat dibuat dimensi sesuai data yang telah diperoleh sebelumnya dengan lebar sekat dari wingtank portsite ke starboard dan tinggi adalah tinggi kapal dikurangi tinggi *double bottom*. Terdapat 6 model sekat melintang yang dibuat pemodelan dapat dilihat pada Gambar III. 7 sampai Gambar III. 12.

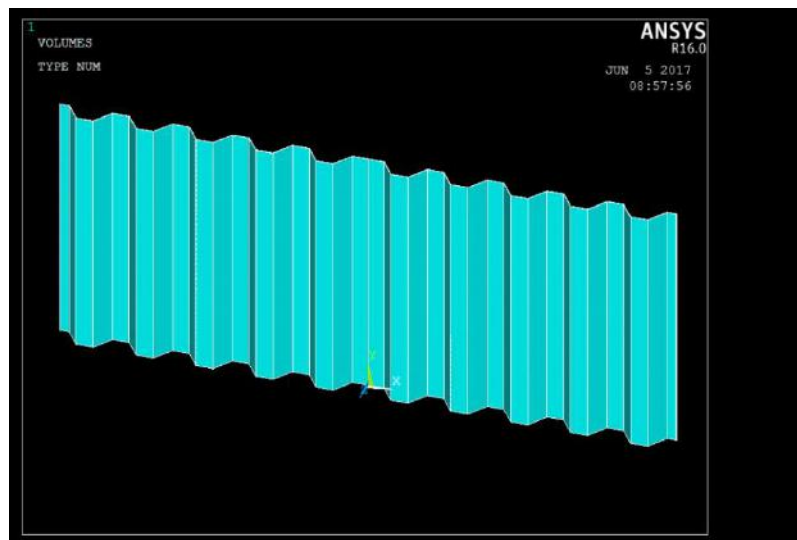




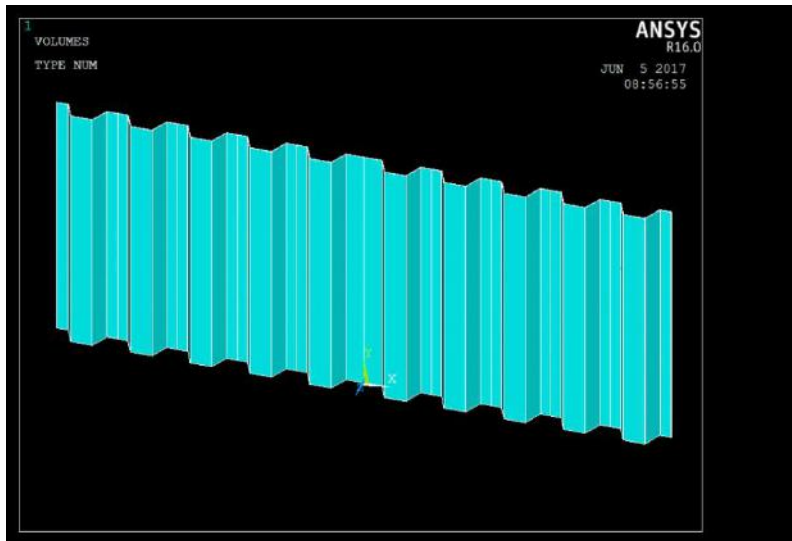
Gambar III. 7. Model 1 - *Corrugated Bulkhead* sudut 64.36 (existing)



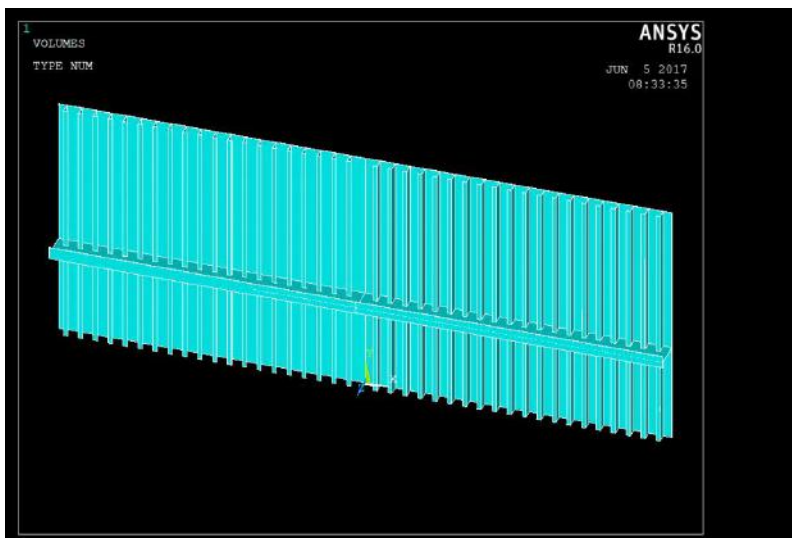
Gambar III. 8. Model 2 - *Corrugated Bulkhead* sudut 45<sup>0</sup>



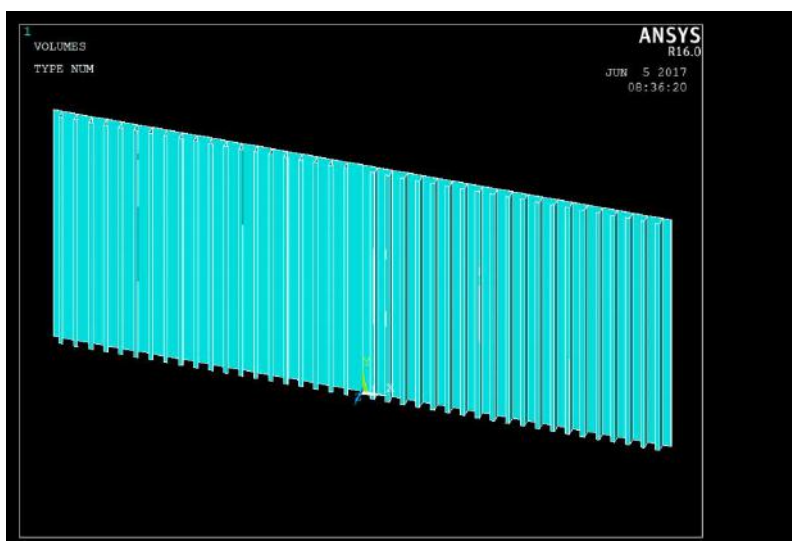
Gambar III. 9. Model 3 - *Corrugated Bulkhead* sudut 55<sup>0</sup>



Gambar III. 10. Model 4 - *Corrugated Bulkhead* sudut  $65^{\circ}$



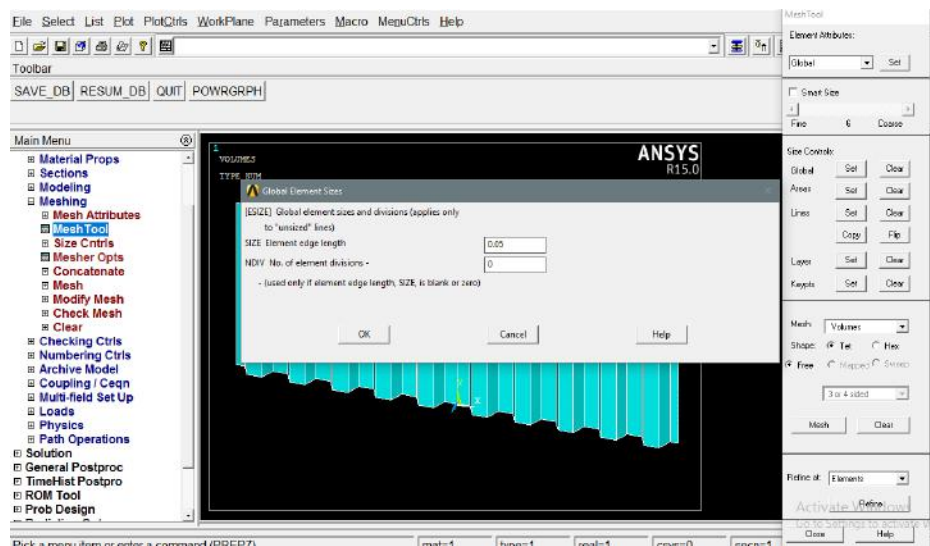
Gambar III. 11. Model 5 - *Transverse bulkhead* dengan penumpu



Gambar III. 12. Model 6 - *Transverse bulkhead* tanpa penumpu

### III.5.5. Meshing

Proses meshing dilakukan untuk mendiskretkan model geometri menjadi elemen-elemen hingga serta titik nodal pada elemen tersebut yang akan dianalisa. Proses meshing dengan elemen lebih kecil maka hasilnya akan lebih akurat dibandingkan dengan elemen yang lebih besar. Pada saat penentuan ukuran elemen keselarasan dari ukuran elemen perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh seragam. Setelah penentuan ukuran elemen dan proses meshing selesai maka perlu dilakukan pengecekan pada model tersebut. Menggunakan *Check Mesh* yaitu sarana yang berfungsi untuk menguji bentuk elemen apakah sudah memenuhi kriteria dan syarat dalam prinsip elemen hingga yang otomatis akan menampilkan keterangan ada kesalahan atau tidak pada meshing. Ukuran elemen yang diaplikasikan pada model dapat digunakan sebagai salah satu variabel konvergensi.



Gambar III. 13. Penentuan ukuran elemen *meshing*

Semua jenis elemen garis, area, dan volume dapat diatur sesuai Gambar III. 13 diatas. Selain ukuran elemen hal lain yang perlu diperhatikan saat meshing adalah pemberian atribut pada elemen sehingga sesuai dengan kondisi sebenarnya. Bentuk elemen yang dipilih adalah berupa *hex* yaitu berupa balok.

### III.5.6. Kondisi Batas

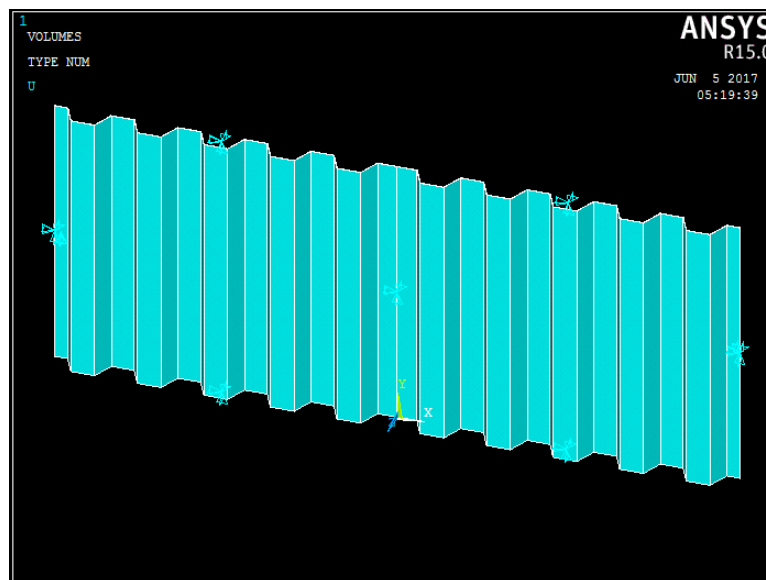
Penentuan konsisi batas (*constraint*) diatur semirip mungkin dengan kondisi nyata yang terjadi pada sekat. Pada pemodelan dengan *software finite elemen* pemberian kondisi batas dengan mengatur *displacement*. Kondisi batas yang dipakai pada analisa ini adalah tumpuan

sederhana. Terdapat beberapa jenis tumpuan pada finite elemen software yang digunakan antara lain UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, dan ROTZ apabila tidak mengalami deformasi kearah sumbu dan rotasi dinamakan All DOF. Pada pemodelan sekat melintang ini tumpuan diberikan pada kondisi UX, UY, dan UZ sehingga pada arah sumbu tersebut translasi tidak dapat terjadi, namun kondisi rotasi kesetiap sumbu masih ada. Kondisi pemberian tumpuan ini dijelaskan pada Tabel III. 2 dibawah ini.

Tabel III. 2. Arah tumpuan beban

Translasi		
UX	UY	UZ
Fix	Fix	Fix

Pada pemodelan sekat melintang pemberian tumpuan beban sesuai dengan pengikatan aatu pengelasan yang terjadi pada sekat dengan bagian konstruksi lainnya. Pemberian tumpuan beban ini dilakukan pada pada beberapa lokasi yaitu bagian atas sambungan dengan *maindeck*, bawah sambungan dengan *double bottom*, Kiri dan kanan sambungan pada *wingtank*, dan pada bagian tengah yaitu sambungan pada sekat memanjang kapal. Untuk lebih jelasnya tumpuan pada model sekat dapat dilihat pada Gambar III. 14. Lokasi tumpuan pada sekat melintang.



Gambar III. 14. Lokasi tumpuan pada sekat melintang

### III.5.7. Pembebanan

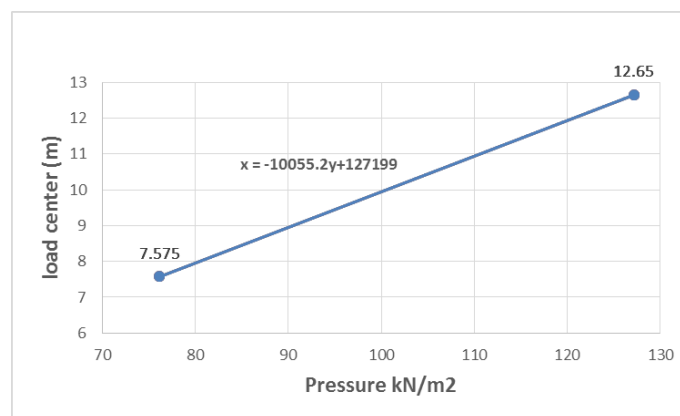
Perhitungan nilai beban pada sekat melintang dilakukan sesuai aturan tekanan statis tangki pada *common structure rule for oil tanker* tahun 2016 yang telah dijelaskan dalam bab

sebelumnya. Pembebanan pada sekat melintang dalam aturan CSR dilakukan dalam beberapa kondisi dapat dilihat pada Tabel III. 3 dibawah ini :

Tabel III. 3. Tekanan statis tangki

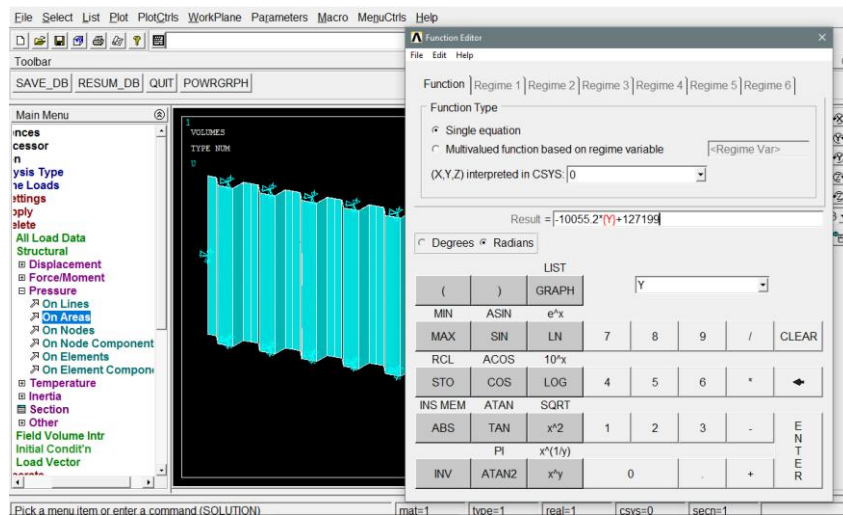
Cargo Tank	$z_{tk}$ (m)	$P_{in-tk}$ (kN/m <sup>2</sup> )
	5.075	44.807
Flow Trough Ballast Water Exchange	$z_{air}$ (m)	$P_{in-air}$ (kN/m <sup>2</sup> )
	7.575	76.169
Testing Pressure	$z_{test}$ (m)	$P_{in-test}$ (kN/m <sup>2</sup> )
	7.575	76.169
	$z_{tk}$ (m)	$P_{in-test}$ (kN/m <sup>2</sup> )
	5.075	65.030

Berdasarkan perhitungan tekanan statis tangki diperoleh nilai tekanan terbesar terjadi pada hasil pengujian tekanan sama dengan saat pengisian dan penggantian air ballast yaitu 76.169 kN/m<sup>2</sup>. Pada sekat melintang jenis beban yang diaplikasikan adalah beban hidrostatik sehingga distribusi beban ini tergantung kepada ketinggian atau kedalaman fluida. Jadi pada model diberikan distribusi beban yang semakin mencapai posisi paling bawah sekat maka terdapat tekanan yang semakin besar. Pada *software finite element method* aplikasi beban hidrostatik muatan ini dilakukan menggunakan persamaan linear dari fungsi tekanan dengan variabel ketinggian berbeda pada sekat diukur dari tinggi *overflow*. Tekanan maksimum berada pada jarak overflow ke titik paling bawah sekat adalah 127.199 kN/ m<sup>2</sup>, maka bisa dibuat persamaan sesuai gambar grafik dibawah ini.



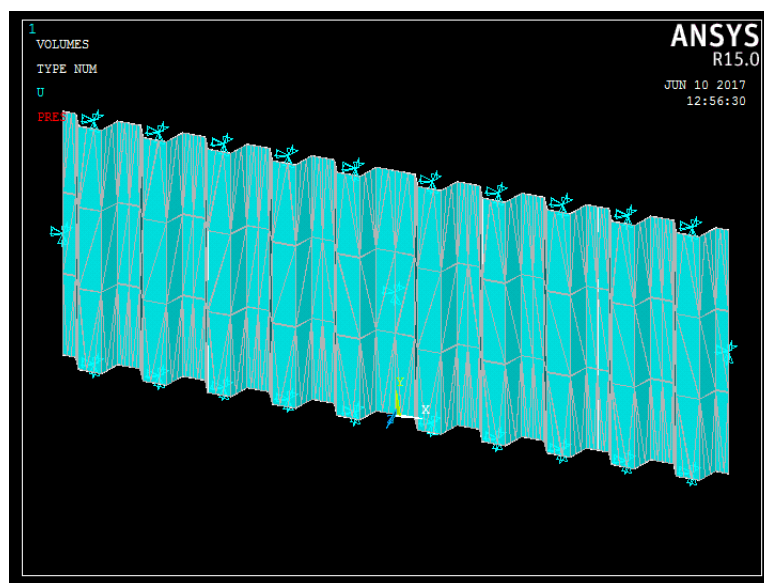
Gambar III. 15. Grafik persamaan tekanan pada sekat melintang

Persamaan linear dari grafik beban diatas selanjutnya diaplikasikan dalam *software finite element* Pada tools *parameter* nilai persamaan disimpan untuk pembebanan pada model, pembebanan tersebut dapat dilihat pada Gambar III. 16.



Gambar III. 16. *Function editor*

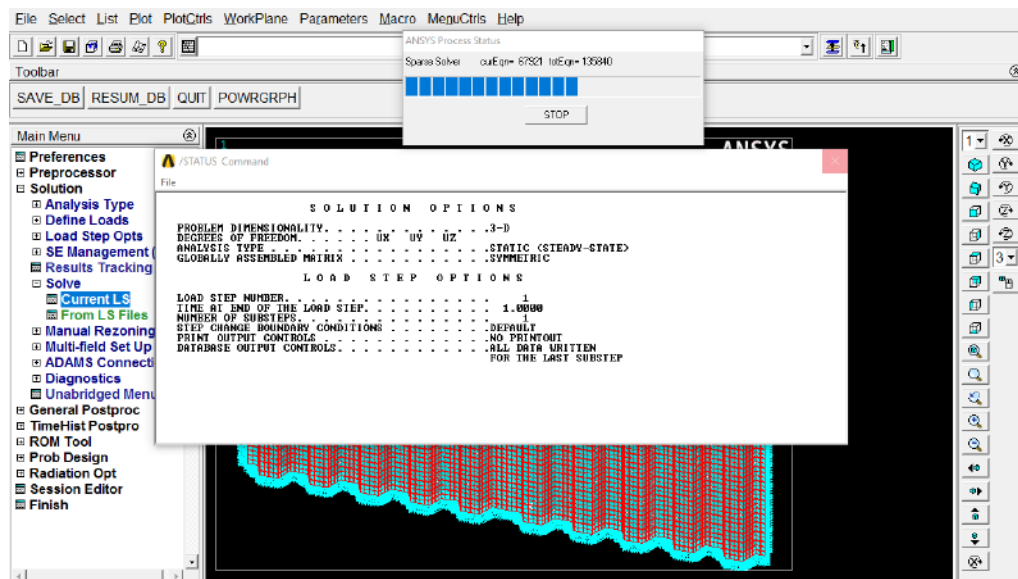
Pada function editor nilai variabel (y) adalah ketinggian atau jarak ke pusat beban pada persamaan tekanan yang diaplikasikan pada model. Proses pemberian beban ini menggunakan tools **mainmenu – solution - define load – apply – structural – pressure – on area** dan dilakukan pemilihan pada area pelat sekat. Setelah pemilihan area maka dilakukan pemilihan nilai fungsi yang telah ditentukan sebelumnya. Kondisi pembebanan pada sekat ditunjukkan pada Gambar III. 17 dibawah ini.



Gambar III. 17. Area pembebanan

### III.5.8. Penyelesaian

Tahap penyelesaian (*solving*) dilakukan setelah proses geometri, meshing, pemasangan constraint serta penerapan beban. Pada tahapan ini *software finite element* menjalankan proses analisa terhadap model yang telah digenerasi dalam bentuk elemen hingga serta telah diberi kondisi batas dan beban pada model tersebut. Apabila semua langkah tersebut sudah dilakukan dengan benar dan memenuhi maka proses solving dapat dijalankan, apabila belum memenuhi maka dilakukan pengecekan ulang pada model tersebut. Pada proses ini membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses pemodelan sebelumnya, karena dari proses iterasi yang berulang ulang pada sistem. Waktu yang dibutuhkan dalam proses ini sesuai dengan ukuran dan jumlah elemen yang digunakan, semakin kecil ukuran elemen maka proses solving akan semakin lama dan membutuhkan kapasitas komputer yang lebih besar.



Gambar III. 18. Proses solving

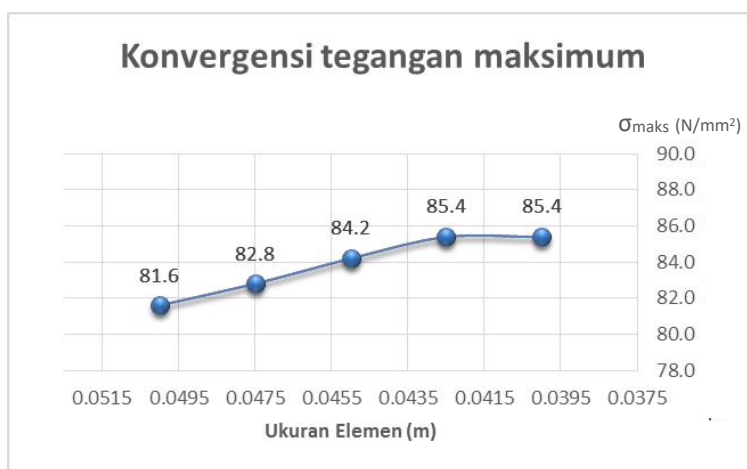
### III.5.10. Konvergensi

Konvergensi dilakukan untuk mengecek ketepatan hasil analisa dari *software finite elemen*. Konvergensi yaitu melakukan perbandingan pada model sama dengan beberapa kali penyelesaian atau *solving* sehingga mencapai hasil yg paling mendekati konstan dengan ukuran elemen yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk menentukan hasil yang paling optimum dalam analisa satu model. Nilai konvergensi pada setiap model yang telah dilakukan dapat dilihat dari Tabel III. 4 sampai Tabel III. 9 dan Gambar III. 19 sampai Gambar III. 24.

1. Model ke- 1 *corrugated bulkhead existing*

Tabel III. 4. Hasil konvergensi model ke- 1

No.	Ukuran Elemen (m)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.05	81.6
2	0.0475	82.8
3	0.045	84
4	0.0425	85.2
5	0.04	85.2



Gambar III. 19. Grafik konvergensi model ke-1

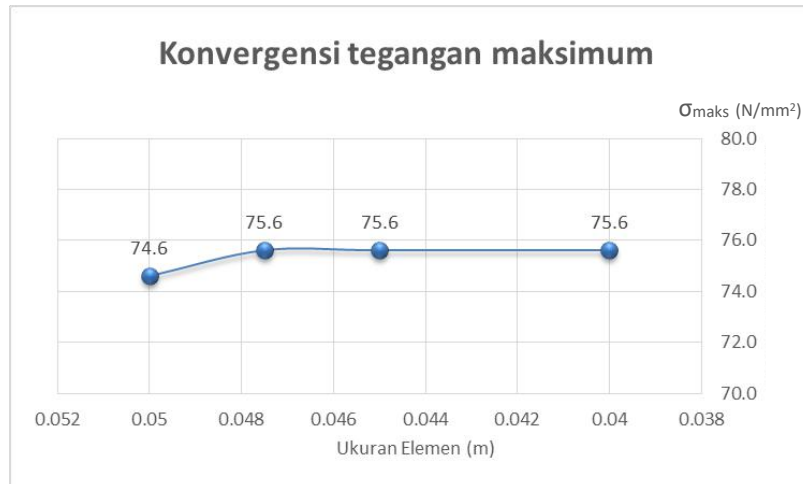
Berdasarkan hasil konvergensi tegangan maksimum pada model ke- 1 *corrugated bulkhead* sesuai data pada ukuran elemen nomor 4 dan 5 sudah stabil maka nilai tegangan yang diambil adalah pada ukuran elemen tersebut.

2. Model ke- 2 *corrugated bulkhead* sudut 45<sup>0</sup>

Tabel III. 5. Hasil konvergensi model ke- 2

No.	Ukuran Elemen (m)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.05	74.6
2	0.0475	75.6
3	0.045	75.6
4	0.04	75.6





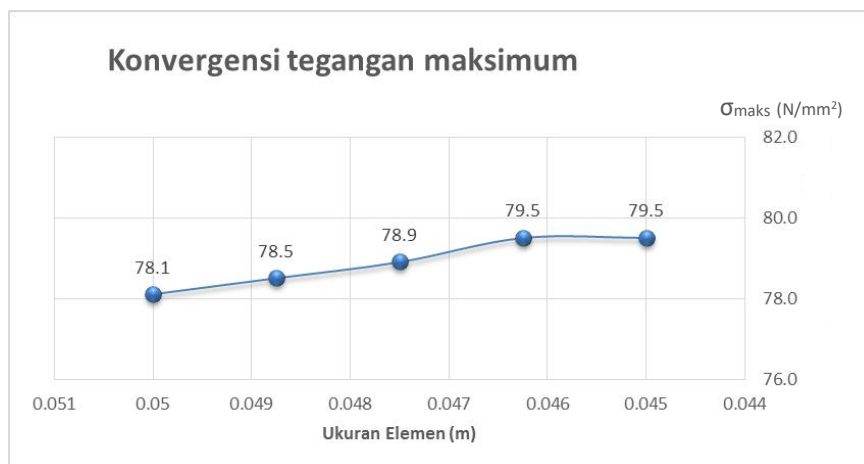
Gambar III. 20. Grafik konvergensi model ke- 2

Berdasarkan hasil konvergensi tegangan maksimum pada model ke- 2 *corrugated bulkhead* sudut  $45^0$  pada ukuran elemen nomor 3 dan 4 sudah stabil maka nilai tegangan yang diambil adalah pada ukuran elemen tersebut.

### 3. Model ke- 3 *corrugated bulkhead* sudut $55^0$

Tabel III. 6. Hasil konvergensi model ke- 3

No.	Ukuran Elemen (m)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.05	78.1
2	0.04875	78.5
3	0.0475	78.9
4	0.04625	79.5
5	0.045	79.5



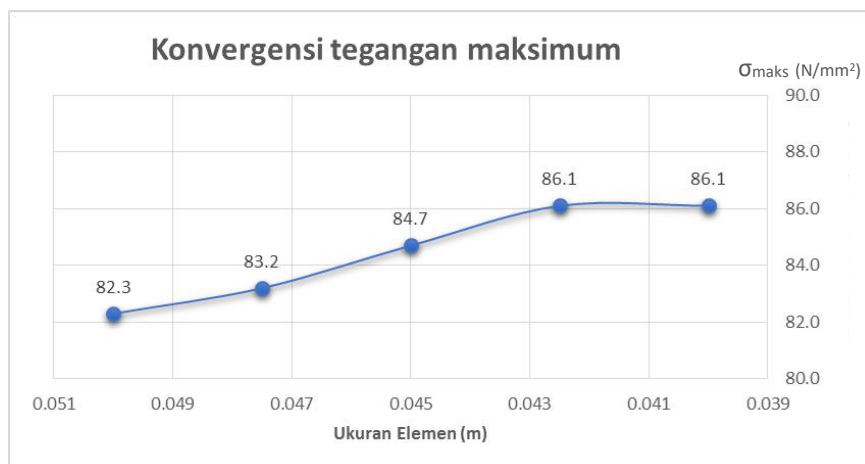
Gambar III. 21. Grafik konvergensi model ke- 3

Berdasarkan hasil konvergensi tegangan maksimum pada model ke- 3 *corrugated bulkhead* sudut  $55^0$  pada ukuran elemen nomor 4 dan 5 sudah stabil maka nilai tegangan yang diambil adalah pada ukuran elemen tersebut.

4. Model ke- 4 *corrugated bulkhead* sudut  $65^0$

Tabel III. 7. Hasil konvergensi model ke- 4

No.	Ukuran Elemen (m)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.05	82.3
2	0.0475	83.2
3	0.045	84.7
4	0.0425	86.1
5	0.04	86.1



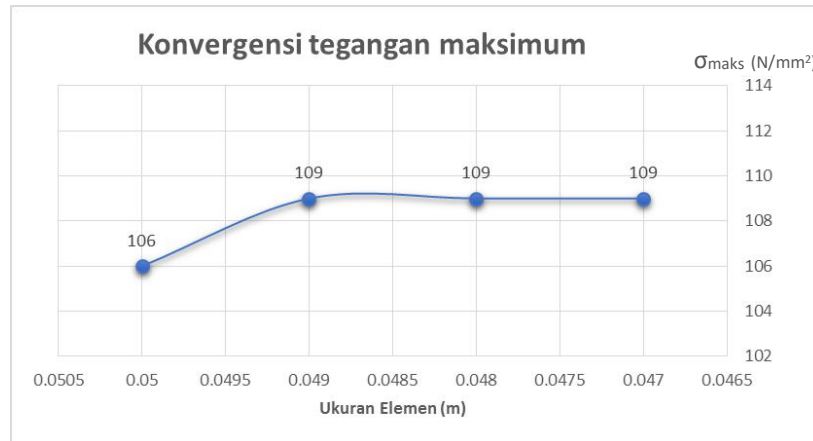
Gambar III. 22. Grafik konvergensi model ke- 4

Berdasarkan hasil konvergensi tegangan maksimum pada model ke- 4 *corrugated bulkhead* sudut  $65^0$  pada ukuran elemen nomor 4 dan 5 sudah stabil maka nilai tegangan yang diambil adalah pada ukuran elemen tersebut.

5. Model ke- 5 *tranverse bulkhead* tanpa penumpu

Tabel III. 8. Hasil konvergensi model ke- 5

No.	Ukuran Elemen (m)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.05	106
2	0.049	109
3	0.048	109
4	0.047	109



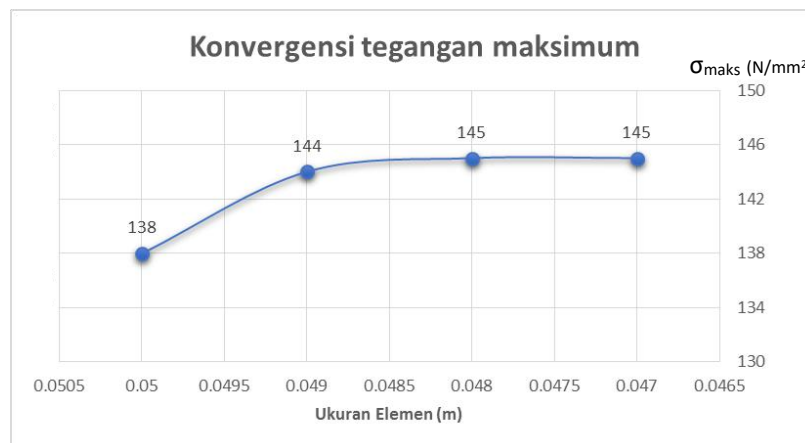
Gambar III. 23. Grafik konvergensi model ke- 5

Berdasarkan hasil konvergensi tegangan maksimum pada model ke- 5 *tranverse bulkhead* tanpa penumpu sesuai data pada ukuran elemen nomor 3 dan 4 sudah stabil maka nilai tegangan yang diambil adalah pada ukuran elemen tersebut.

6. Model ke- 6 *tranverse bulkhead* dengan penumpu

Tabel III. 9. Hasil konvergensi model ke- 6

No.	Ukuran Elemen (m)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.05	138
2	0.049	144
3	0.048	145
4	0.047	145



Gambar III. 24. Grafik konvergensi model ke- 6

Berdasarkan hasil konvergensi tegangan maksimum pada model ke- 6 *tranverse bulkhead* dengan penumpu sesuai data pada ukuran elemen nomor 3 dan 4 sudah stabil maka nilai tegangan yang diambil adalah pada ukuran elemen tersebut.

Selain dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran elemen, akurasi solusi analisis elemen hingga juga dipengaruhi oleh kualitas *mesh* yang digunakan dalam model elemen hingga. Salah satu parameter yang digunakan untuk menilai kualitas *mesh* adalah *aspect ratio*. Nilai *aspect ratio* ditentukan dengan perbandingan sisi terpanjang dan terpendek suatu elemen. *Aspect ratio* suatu elemen adalah antara 1 – 5 (Mottram dan Shaw, 1996). Pada analisa sekat melintang ini menggunakan ukuran elemen terbesar yaitu 49 mm dan tebal terkecil 10 mm, maka didapatkan nilai aspek ratio 4.9 dimana masih memenuhi kriteria *aspect ratio* dengan nilai maksimal 5.

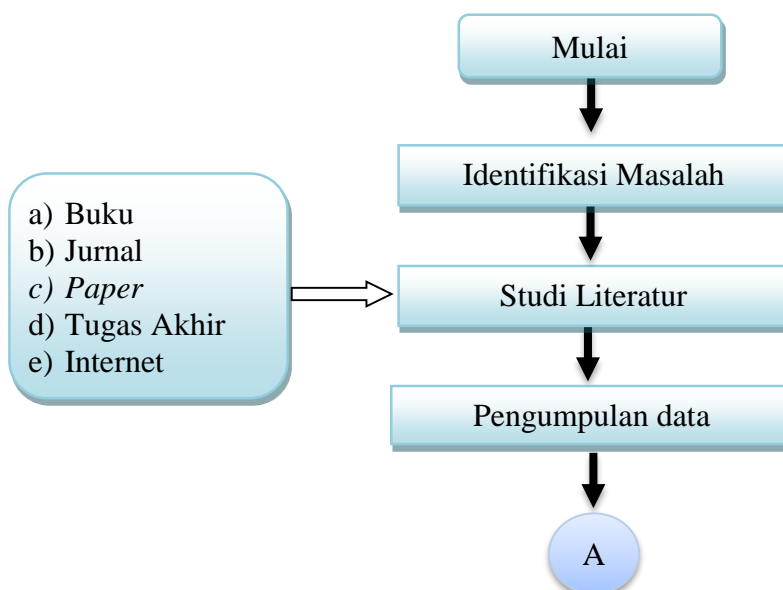
### III.6. Analisa dan Pembahasan

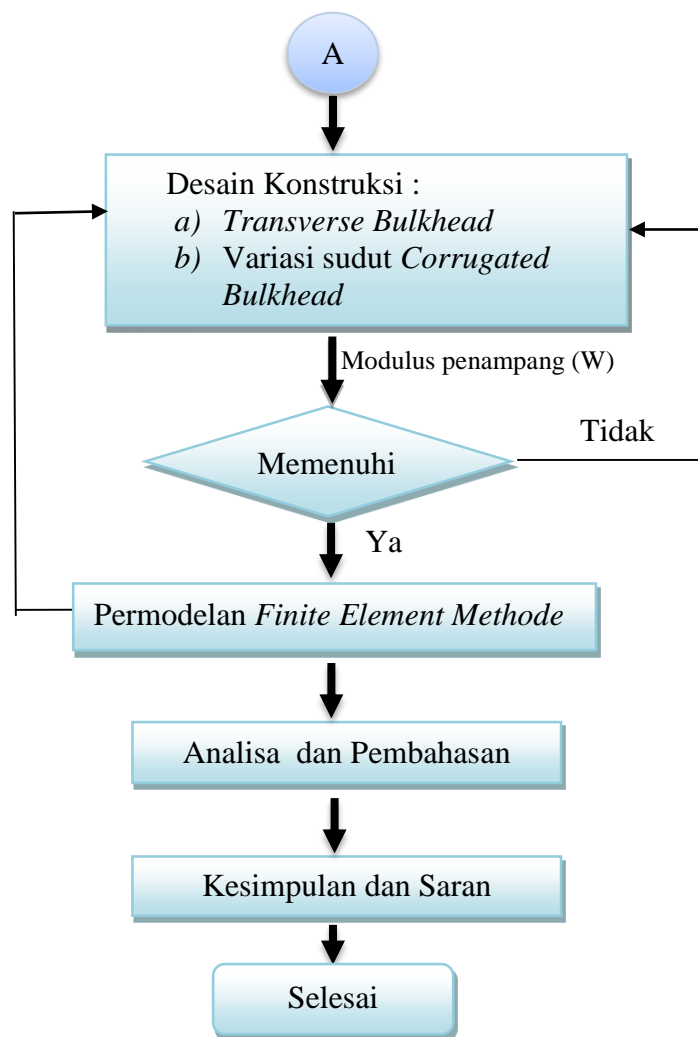
Dalam tahap ini dilakukan analisa hasil model konstruksi dari Software Finite Element. Dilakukan simulasi pengujian kekuatan konstruksi antara kedua model sekat melintang dan dilakukan perbandingan perhitungan sesuai peraturan biro klasifikasi. Outputnya adalah membandingkan kekuatan antara kedua sekat melintang dan mencari yang lebih efisien.

### III.7. Penarikan Kesimpulan

Tahapan ini adalah tahap akhir dimana dilakukan penarikan kesimpulan mengenai keseluruhan proses yang telah dilakukan. Selain itu, juga memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

### III.8. Bagan Alir





Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Perhitungan sekat bergelombang

Sekat bergelombang (corrugated bulkhead) ini merupakan sekat pemisah kompartemen atau ruang muat satu dengan ruang muat lainnya. Konstruksi sekat melintang bergelombang ini dapat diterapkan dalam berbagai sistem konstruksi baik memanjang, melintang atau campuran.

Perhitungan modulus *corrugated bulkhead* dilakukan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2014 volume II adalah sebagai berikut :

$$W = t \cdot d (b + s/3)$$

Dimana :

e = lebar elemen (cm)

$$= 240 \text{ cm}$$

b = lebar pelat hadap (cm)

$$= 84 \text{ cm}$$

s = lebar pelat bilah (cm)

d = jarak antara pelat hadap (cm)

$$= 75 \text{ cm}$$

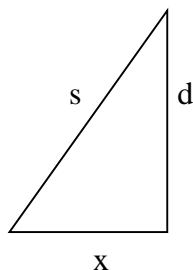
t = tebal pelat (cm)

$$= 1.4 \text{ cm}$$

Karena nilai lebar pelat bilah (s) belum diketahui maka digunakan rumus phytagoras untuk menentukannya, yaitu :

$$x = 36 \text{ cm (sesuai data)}$$

$$d = 75 \text{ cm}$$



maka,

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{x^2 + d^2} \\ &= \sqrt{36^2 + 75^2} \\ &= 83.19 \text{ cm} \end{aligned}$$

sehingga perhitungan modulus,

$$W = t \cdot d ( b + s/3 )$$

$$W = 1,4 \times 75 ( 84 + 83.19/ 3 )$$

$$W = 1,4 \times 75 ( 111,7 )$$

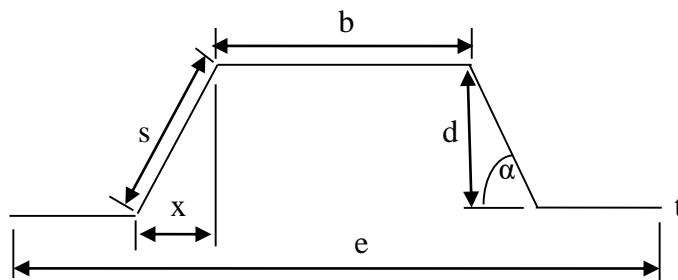
$$W = 11731,381 \text{ cm}^3$$

Jadi, nilai modulus penampang untuk satu elemen corrugated bulkhead adalah 11731,381 cm<sup>3</sup>. Nilai modulus Corrugated bulkhead ini dijadikan acuan awal untuk desain dimensi Variasi *corrugated bulkhead* dan dimensi *transverse bulkhead*.

#### IV.1.1. Perhitungan dimensi variasi sudut sekat bergelombang

Pemilihan sudut sebagai variasi atau pembanding model sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*) maka dimensi elemen seperti lebar pelat hadap (b), jarak antara pelat hadap (d), pelat bilah (s), dan tebal pelat (t) akan berbeda juga. Perhitungan dimensi *corrugated bulkhead* berdasarkan sudut ini masih dalam satu modulus penampang dan panjang elemen yang mendekati atau sama dengan data awal. Ukuran sudut yang dipilih adalah Sudut 45°, 55°, dan 65° dan panjang elemen tetap yaitu 240 cm. Maka didapatkan 3 dimensi model corrugated bulkhead dengan sudut yang berbeda namun nilai modulus dan panjang elemen sama.

Pada perhitungan modulus penampang untuk setiap sudut *corrugated* menggunakan aturan Biro Kalasifikasi Indonesia section 11.B.4.3. Variabel yang digunakan dalam penentuan ini adalah nilai x, b, dan t sehingga didapatkan nilai modulus yang paling mendekati dengan data awal. Nilai x adalah panjang elemen (e) dikurangi dua kali nilai pelat hadap (b).



Gambar III. 25. Ilustrasi nilai x

Nilai x bukanlah elemen dalam rumus sekat bergelombang dalam aturan BKI namun untuk memudahkan perhitungan dimensi corrugated maka nilai x didefinisikan seperti gambar III.4 diatas. Dengan menggunakan nilai x, b serta t sebagai variabel untuk mencari modulus dan panjang elemen yang mendekati modulus sesuai data. Nilai elemen lain seperti pelat bilah



(s) dan jarak antara pelat hadap (d) dapat ditentukan dengan persamaan trigonometri dan phytagoras yaitu  $s = x / \cos a$  dan  $d = \sqrt{s^2 - x^2}$ .

Setelah substitusi nilai variabel x, b dan t sehingga didapatkan nilai s dan b serta modulus yang paling mendekati data awal. Selanjutnya dilakukan perhitungan selisih berupa persentase antara modulus data dengan modulus sudut yang baru, selisih ini diusahakan dibawah 5%. Sehingga didapatkan semua ukuran elemen untuk dilakukan permodelan selanjutnya.

### 1. Sudut 45

Pada sudut 45<sup>0</sup> didapatkan ukuran elemen yang paling mendekati yaitu :

$$\text{Variabel } x = 90 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$t = 1.8 \text{ cm}$$

$$\text{nilai } s = \frac{x}{\cos 45} = \frac{90}{0.707} = 127.3 \text{ cm}$$

$$\text{nilai } d = \sqrt{s^2 - x^2} = \sqrt{127.3^2 - 90^2} = 90.03 \text{ cm}$$

Maka perhitungan modulus :

$$\begin{aligned} W &= t \cdot d (b + s/3) \\ &= 1.8 \times 90.03 (30 + 127.3/3) \\ &= 1.8 \times 90.03 (72.43) \\ &= 11737.66 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan selisih modulus,

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Modulus sudut } \alpha - \text{Modulus data}}{\text{Modulus data}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase (W sudut } 45^0) &= \frac{11737.66 - 11731.381}{11731.381} \times 100 \% \\ &= \frac{6.279}{11731.381} \times 100 \% \\ &= 0.054 \% \end{aligned}$$

Jadi, dengan nilai b, d, s, dan t sudut 45<sup>0</sup> diatas sudah mendekati modulus data dengan persentase 0.054 %.

### 2. Sudut 55<sup>0</sup>

Pada sudut 55<sup>0</sup> didapatkan ukuran elemen yang paling mendekati yaitu :

$$\text{Variabel } x = 52.46 \text{ cm}$$

$$b = 67.54 \text{ cm}$$

$$t = 1.6 \text{ cm}$$

$$\text{nilai } s = \frac{x}{\cos 55} = \frac{52.46}{0.574} = 91.39 \text{ cm}$$

$$\text{nilai } d = \sqrt{s^2 - x^2} = \sqrt{91.39^2 - 52.46^2} = 74.84 \text{ cm}$$

Maka perhitungan modulus :

$$\begin{aligned} W &= t \cdot d (b + s/3) \\ &= 1.8 \times 74.84 (67.54 + 91.39/3) \\ &= 1.8 \times 74.84 (98) \\ &= 11735.18 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan selisih modulus,

$$\text{Persentase (\%)} \equiv \frac{\text{Modulus sudut } \alpha - \text{Modulus data}}{\text{Modulus data}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase (W sudut } 55) &= \frac{11735.18 - 11731.381}{11731.381} \times 100 \% \\ &= \frac{3.802}{11731.381} \times 100 \% \\ &= 0.032 \% \end{aligned}$$

Jadi, dengan nilai b, d, s, dan t sudut  $55^\circ$  diatas sudah mendekati modulus data dengan persentase 0.032 %.

### 3. Sudut $65^\circ$

Pada sudut  $65^\circ$  didapatkan ukuran elemen yang paling mendekati yaitu :

$$\text{Variabel } x = 34.74 \text{ cm}$$

$$b = 85.26 \text{ cm}$$

$$t = 1.8 \text{ cm}$$

$$\text{nilai } s = \frac{x}{\cos 65} = \frac{34.74}{0.423} = 82.13 \text{ cm}$$

$$\text{nilai } d = \sqrt{s^2 - x^2} = \sqrt{82.13^2 - 34.74^2} = 74.42 \text{ cm}$$

Maka perhitungan modulus :

$$\begin{aligned} W &= t \cdot d (b + s/3) \\ &= 1.8 \times 74.42 (85.26 + 82.13/3) \\ &= 1.8 \times 74.42 (112.636) \\ &= 11735.04 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan selisih modulus,

$$\text{Persentase (\%)} \equiv \frac{\text{Modulus sudut } \alpha - \text{Modulus data}}{\text{Modulus data}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase (W sudut } 55^0) &= \frac{11735.04 - 11731,381}{11731,381} \times 100 \% \\
 &= \frac{3.66}{11731,381} \times 100 \% \\
 &= 0.031 \%
 \end{aligned}$$

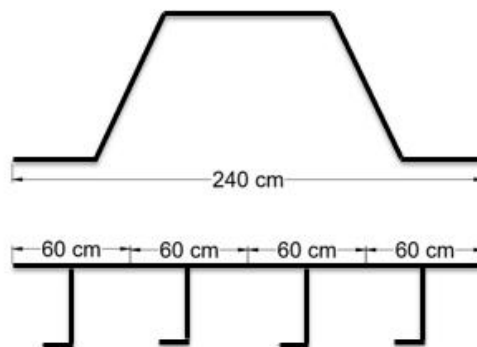
Jadi, dengan nilai b, d, s, dan t sudut  $55^0$  diatas sudah mendekati modulus data dengan persentase 0.032 %. Tabulasi hasil perhitungan variasi *corrugated bulkhead* ditunjukkan pada Tabel IV. 1.

Tabel IV. 1. Tabulasi variasi *corrugated bulkhead*

Sudut	$45^0$	$55^0$	$65^0$	$64.36^0$ (existing)
tebal (cm)	0.018	0.016	0.014	0.014
x (cm)	90	52.46	34.74	36
s (cm)	127.3	91.39	82.13	83.19
b (cm)	30	67.54	85.26	84
d (cm)	90.03	74.84	74.42	75
e (cm)	240	240	240	240
W (cm <sup>3</sup> )	11737.66	11735.18	11735.04	11731.38
Selisih W (%)	0.054	0.032	0.031	0

#### IV.2. Perhitungan sekat melintang (*transverse bulkhead*)

Perbandingan nilai kekuatan dari *corrugated bulkhead* dengan *tranverse bulkhead* ini dilakukan dengan nilai modulus yang sama atau mendekati. Desain dimensi *tranverse bulkhead* ini dilakukan dengan acuan panjang elemen yang sama dengan *corrugated bulkhead* yaitu 240 cm. Berdasarkan panjang elemen *corrugated bulkhead* maka terdapat beberapa penegar untuk *transverse bulkhead* yang jumlah modulusnya sama dengan nilai modulus data *corrugated*.



Gambar IV. 1. Konversi panjang elemen sekat

Pada konstruksi ruang muat kapal tanker 17.500 ukuran jarak gading adalah 0.75 meter. Berdasarkan jarak gading tersebut ukuran jarak gading maksimal adalah 0.75 m, maka dipilih 4 penegar dengan jarak penggar(a) 0.6 m pada tranverse bulkhead. Perhitungan modulus dilakukan dengan membagi modulus data corrugated bulkhead dengan jumlah penegar. Sehingga didapatkan nilai modulus penegar adalah 2932.845 cm<sup>3</sup>.

Berdasarkan nilai modulus penampang penegar yang telah diketahui maka dapat dilakukan perhitungan ukuran profil penegar yang digunakan pada transverse bulkhead. Jenis profil yang digunakan adalah profil L untuk menentukan dimensi profil dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Tabel III. 10 Perhitungan profil L

Jenis	Horizontal (cm)	Vertikal (cm)	Luas (F) (cm <sup>2</sup> )	Jarak (d) (cm)	Momen luas F.d (cm <sup>3</sup> )	Momen inersia F.d <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	Momen inersia individu (1/12.b.h <sup>3</sup> ) (cm <sup>4</sup> )
Pelat pengikut	60	1.4	84	41.7	3502.8	146066.8	13.72
Pelat bilah	1	40	40	21	840	17640	5333.33
Pelat hadap	15	1	15	0.5	7.5	3.75	1.25
Jumlah		42.4	139		4350.3	163710.5	5348.30

$$\begin{aligned}
 Z1 &= \sum \text{momen luas} / \sum \text{luas} \\
 &= 4350.5 / 139 \\
 &= 31.29 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

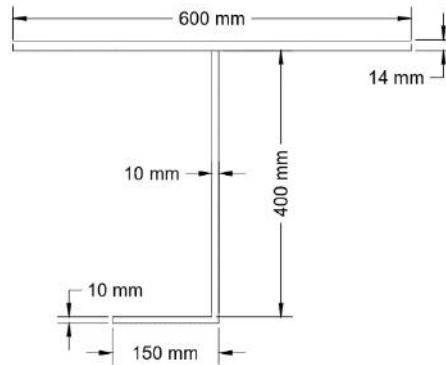
$$\begin{aligned}
 Z2 &= \sum \text{vertikal} - Z1 \\
 &= 42.4 - 31.29 \\
 &= 11.103 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= \sum \text{momen inersia} + \sum \text{momen inersia individu} \\
 &= 163710.5 + 5348.3 \\
 &= 169058.8 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{na} &= I_{xx} - (\sum F \times Z1^2) \\
 &= 169058.8 - (139 \times 31.29^2) \\
 &= 32906.94 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W1 &= I_{na} / Z1 \\
 &= 32906.94 / 31.29 \\
 &= 1051.437 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W2 &= I_{na} / Z2 \\
 &= 32906.94 / 11.103 \\
 &= \mathbf{2963.821 \text{ cm}^3}
 \end{aligned}$$



Gambar III. 26. Profil penegar

Jadi modulus profil penegar yang dipilih adalah 2963.821 dengan selisih 1.056 % dari modulus penegar awal. Dimensi ini selanjutnya dapat dimodelkan sebagai *transverse bulkhead*.

#### IV.2.1. Perhitungan Penumpu

Penumpu pada *transverse bulkhead* dipasang sebagai penguat tambahan konstruksi sekat melintang. Modulus penampang dari penumpu ditentukan berdasarkan rumus dari BKI section 10.B.4.1 :

$$W = c \cdot e \cdot l^2 \cdot p \cdot k$$

Dimana :

$$c = 0.55$$

$e$  = diukur dari pusat ke pusat bidang yang tidak ditumpu yang berdekatan

$l$  = panjang yang tidak ditumpu

$$= 12.35 \text{ m}$$

$p$  = beban sekat

$$= 9.81 \times h$$

$k$  = faktor bahan

$$= \frac{235}{ReH}$$

Dalam penempatan tinggi penumpu pada sekat dengan menentukan panjang penegar ( $l$ ) menggunakan aturan Biro Kalsifikasi Indonesia section 11. B.3.1 dengan mencari modulus yang sama antara penegar bagian atas dengan penegar bagian bawah. Sehingga dimensi penegar

yang digunakan sesuai pada perhitungan penegar sebelumnya namun ditambahkan dengan penumpu.

$$W = c_s . a . l^2 . p \quad [cm^3]$$

dimana,

$$\begin{aligned} c_s &= \text{Koefisien penegar} \\ &= 0.265 . f && (\text{Jepit di kedua ujungnya}) \\ &= 0.265 \\ a &= 0.60 && m \text{ (jarak antar penegar besar)} \end{aligned}$$

penegar atas

$$\begin{aligned} l &= \mathbf{6.09} && m \\ h &= 4.046 && m \\ p &= 9.81 . h \\ &= 39.69 && kN/m^2 \\ W &= c_s . a . l^2 . p && [cm^3] \\ &= 0.265 \times 0.6 \times 6.09^2 \times 39.69 \\ &= 234.25 && cm^3 \end{aligned}$$

penegar bawah

$$\begin{aligned} l &= \mathbf{4.06} && m \\ h &= 9.121 && m \\ p &= 9.81 . h \\ &= 89.48 && kN/m^2 \\ W &= c_s . a . l^2 . p && [cm^3] \\ &= 0.265 \times 0.6 \times 4.06^2 \times 89.48 \\ &= 234.25 && cm^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan modulus diatas maka tinggi corrugated adalah sesuai panjang penegar (l) bawah yaitu 4,06 meter dari *double bottom*. Dimensi penegar yang digunakan adalah sesuai perhitungan profil *transverse bulkhead* sebelumnya yang merupakan konversi berdasarkan modulus *corrugated bulkhead* yaitu 2963,821 cm<sup>3</sup> . Sehingga perhitungan modulus penampang untuk penumpu adalah sebagai berikut :

$$W = c . e . l^2 . p . k \quad [cm^3]$$

dimana,

$$c = 0,55$$

$$e = \frac{\text{panjang penegar atas}}{2} + \frac{\text{panjang penegar bawah}}{2}$$

$$= \frac{6,09}{2} + \frac{4,06}{2} = 5,075 \text{ m}$$

$$l = 12,35$$

$$h = 7,575$$

$$p = 9,81 \times 7,575 = 74,31 \text{ cm}^3$$

$$R_{eh} = 235$$

$$k = \frac{235}{235} = 1$$

Sehingga,

$$W = 0,55 \times 5,075 \times 12,35^2 \times 74,31 \times 1$$

$$= 31168,669 \text{ cm}^3$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan ukuran profil T yang digunakan sebagai penumpu pada *transverse bulkhead* ini . Dalam perhitungan penumpu sebelumnya dilakukan perhitungan lebar efektif pelat pengikut untuk penumpu sebagai berikut :

Berdasarkan Tabel II. 2. Lebar efektif em gading-gading dan penumpu pada bab sebelumnya maka perhitungan lebar efektif pada penumpu sekat sebagai berikut :

$e_{m2}/e$  dipilih karena perbedaan tekanan sesuai ketinggian.

$$l/e = \frac{12,35}{5,075}$$

$$= 2,47$$

interpolasi  $l/e$ , 2=  $e_{m2}/e$  0.37 dan  $l/e$ , 3=  $e_{m2}/e$  0.52

Tabel III. 11. Interpolasi lebar pelat efektif

$l/e$	2	<b>2.47</b>	3
$e_{m2}/e$	0.37	<b>0.44</b>	0.52

$l/e$ , 2.47 =  $e_{m2}/e$  0.44.

$$e_{m2} = e \times 0,44$$

$$= 5,075 \times 0,44$$

$$= 2,203 \text{ m}$$

Nilai  $e_{m2}$  diatas adalah nilai maksimum lebar pelat maka lebar pelat pengikut yang dipakai adalah 2.2 m atau 220 cm.

Tabel III. 12. Perhitungan profil T

Jenis	Horizon tal (cm)	Vertikal (cm)	Luas (F) (cm <sup>2</sup> )	Jarak (d) (cm)	Momen luas F.d (cm <sup>3</sup> )	Momen inersia F.d <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )	Momen inersia individu (1/12.b.h <sup>3</sup> ) (cm <sup>4</sup> )
Pelat pengikut	220	1.4	308	112.1	34526.8	3870454.28	50.31
Pelat bilah	1.4	110	154	56.4	8685.6	489867.84	155283.33
Pelat hadap	50	1.4	70	0.7	49	34.3	11.43
Jumlah		112.8	532		43261.4	4360356.42	155345.07

$$\begin{aligned}
 Z1 &= \sum \text{momen luas} / \sum \text{luas} \\
 &= 43261.4 / 532 \\
 &= 81.318 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z2 &= \sum \text{vertikal} - Z1 \\
 &= 112.8 - 81.318 \\
 &= 31.48 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

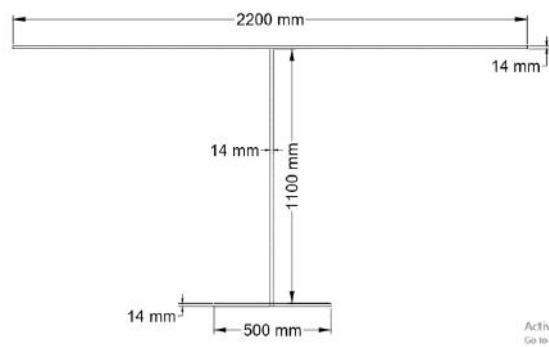
$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= \sum \text{momen inersia} + \sum \text{momen inersia individu} \\
 &= 4360356.42 + 155345.07 \\
 &= 4515701.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{na} &= I_{xx} - (\sum F \cdot Z1^2) \\
 &= 4515701.5 - 3517948.74 \\
 &= 997752.75 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W1 &= I_{na} / Z1 \\
 &= 997752.75 / 81.318 \\
 &= 12269.7015 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W2 &= I_{na} / Z2 \\
 &= 997752.75 / 31.48 \\
 &= \mathbf{32093.2246 \text{ cm}^3}
 \end{aligned}$$





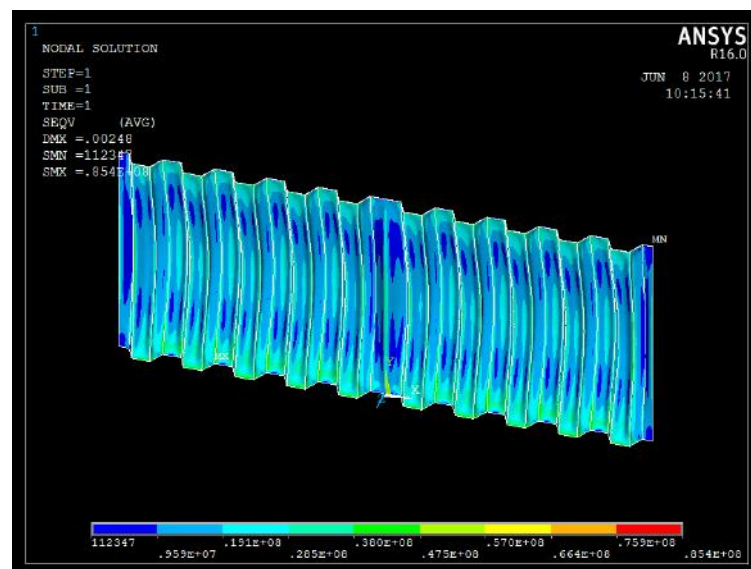
Gambar III. 27. profil penumpu

Jadi modulus profil penumpu yang dipilih adalah  $32093.2246 \text{ cm}^3$  dengan selisih 2.97 % dari modulus penumpu awal. Dimensi penumpu ini selanjutnya dapat dimodelkan pada konstruksi *transverse bulkhead*.

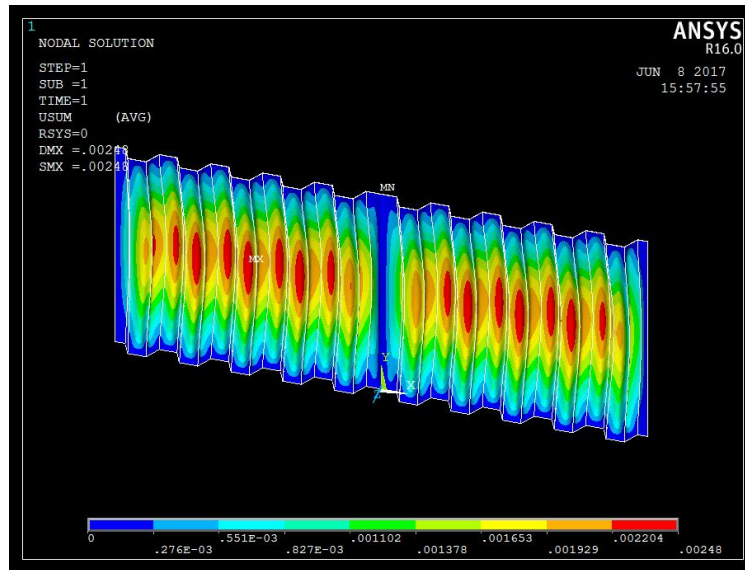
### IV.3. Hasil Analisa

Setelah semua rangkaian proses analisa dilakukan maka didapatkan hasil analisa yaitu nilai tegangan pada model konstruksi sekat melintang. Hasil analisa sekat melintang menggunakan *finite element software* berupa tegangan von mises pada masing- masing model sekat. Tegangan merupakan gaya yang bekerja pada permukaan seluas satu satuan. Pada hasil analisa gradiasi warna tegangan yang paling tinggi adalah warna merah kemudian kuning, hijau, biru muda dan yang paling kecil adalah biru tua. Nilai tegangan dan deformasi pada model sekat dapat dilihat pada Gambar III. 28 sampai Gambar III. 39 di bawah ini :

#### 1. Corrugated bulkhead existing



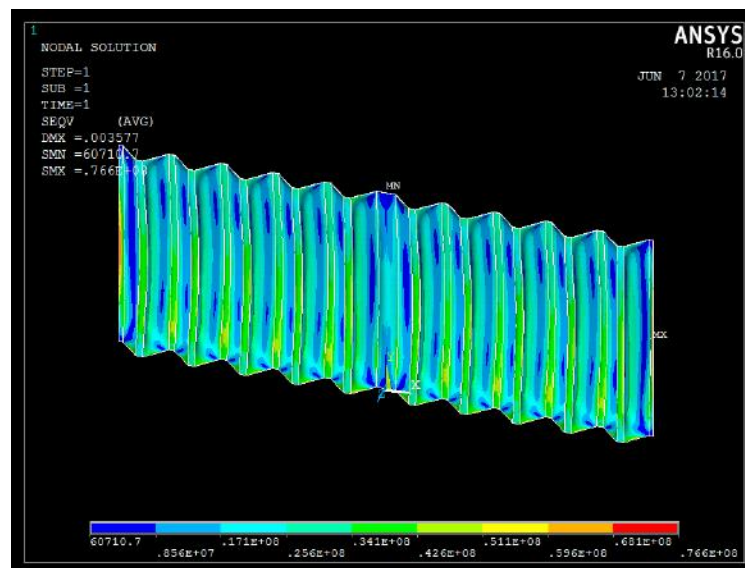
Gambar III. 28. Nilai tegangan pada *corrugated bulkhead existing*



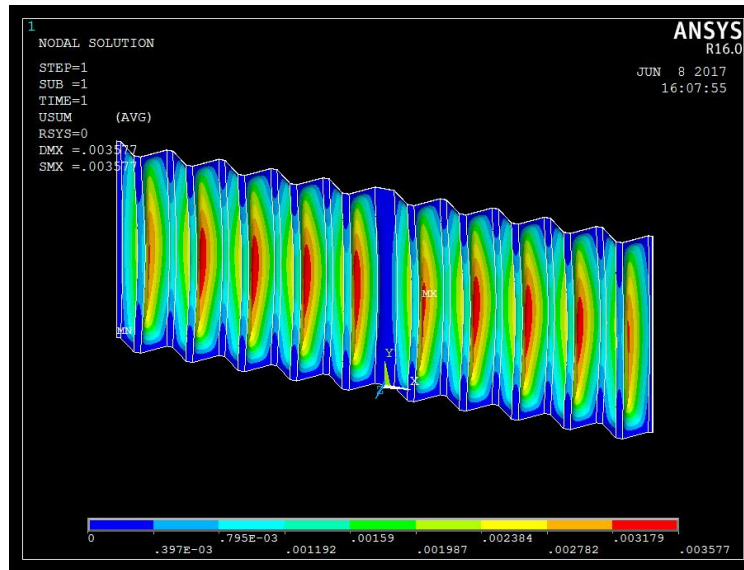
Gambar III. 29. Deformasi *corrugated bulkhead existing*

Nilai tegangan maksimum pada *corrugated bulkhead existing* adalah  $85.4 \text{ N/mm}^2$  berada pada bagian alas sekat, sedangkan nilai minimum berada pada bagian ujung paling atas sekat adalah  $1.12 \text{ N/mm}^2$ . Nilai tersebut sesuai dengan pembebanan yang lebih besar berada pada bagian bawah sekat sehingga terjadi nilai maksimum tegangan pada daerah tersebut. Nilai deformasi maksimum pada *corrugated bulkhead data* adalah 2 mm yang berada pada bagian tengah sekat dan nilai deformasi minimum terjadi pada bagian tengah atas sekat dan bagian tumpuan beban.

## 2. Corrugated bulkhead sudut $45^\circ$



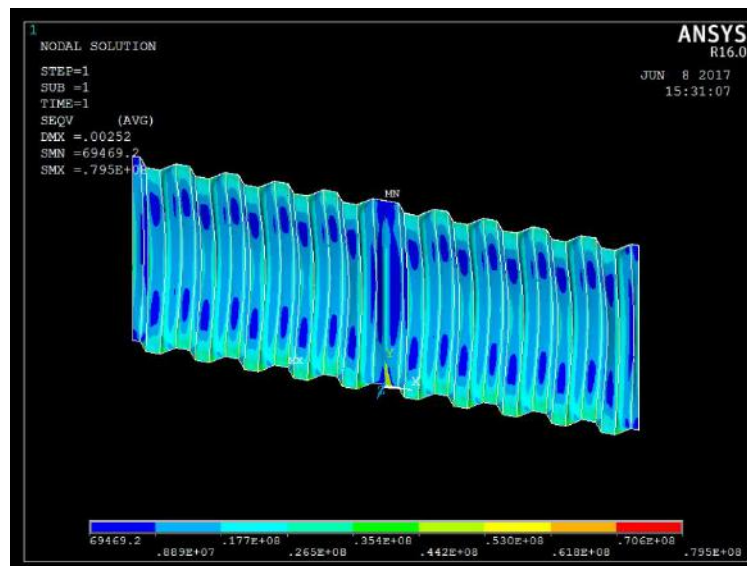
Gambar III. 30. Nilai tegangan pada *corrugated bulkhead* sudut  $45^\circ$



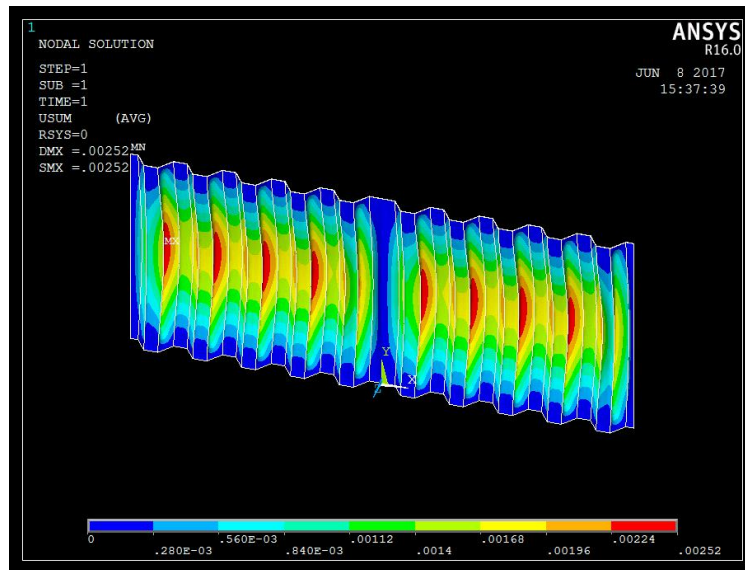
Gambar III. 31. Deformasi *corrugated bulkhead* sudut  $45^0$

Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *corrugated bulkhead* sudut  $45^0$  adalah  $76.6 \text{ N/mm}^2$  berada pada sisi samping sekat. Tegangan maksimum ini dipengaruhi oleh luasan pelat yang sempit pada daerah tumpuan beban (*constraint*). Nilai tegangan minimum adalah  $0.607 \text{ N/mm}^2$  yang berada pada bagian atas tengah sekat. Pada sudut *corrugated bulkhead* dengan sudut  $45^0$  deformasi maksimum terjadi pada bagian tengah pelat sekat yaitu  $3.58 \text{ mm}$  dan nilai minimum berada daerah tumpuan beban dan ujung bawah sekat.

### 3. Corrugated bulkhead sudut $55^0$



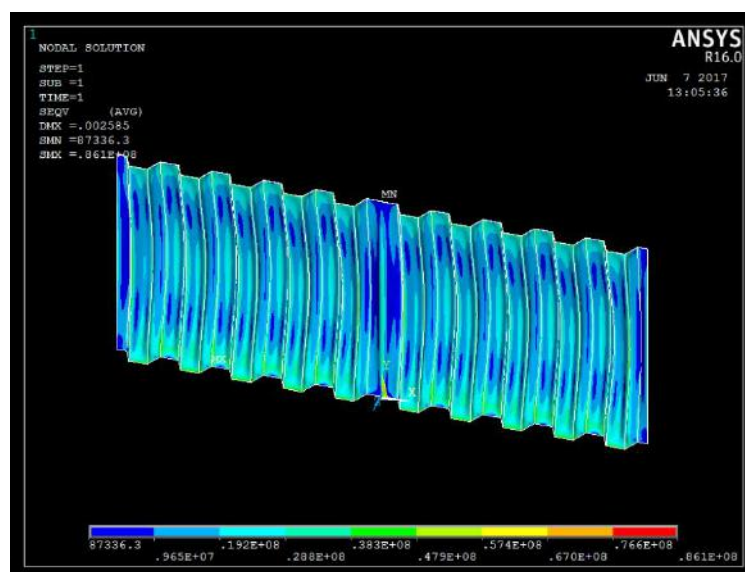
Gambar III. 32. Nilai tegangan pada *corrugated bulkhead* sudut  $55^0$



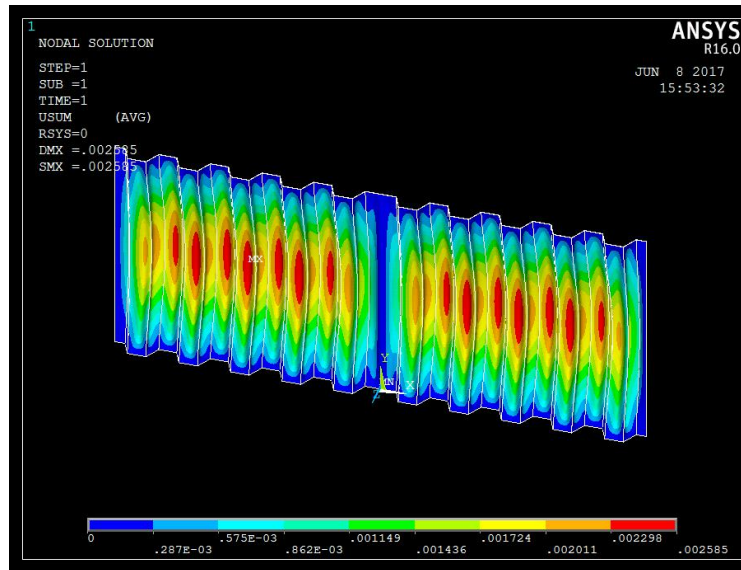
Gambar III. 33. Deformasi *corrugated bulkhead* sudut  $55^0$

Nilai tegangan terbesar pada *corrugated bulkhead* sudut  $55^0$  adalah  $79.5 \text{ N/mm}^2$  yang berada pada daerah paling bawah sekat dan nilai tegangan minimum berada pada bagian atas sekat yaitu  $0.695 \text{ N/mm}^2$  berada pada bagian atas sekat. Deformasi yang terjadi pada *corrugated* sudut  $45^0$  mempunyai nilai maksimum sebesar  $2.52 \text{ mm}$  yang berada pada bagian tengah pelat sekat dan deformasi minimum berada pada sisi ujung sekat dimana terdapat tumpuan beban pada daerah tersebut.

#### 4. Corrugated bulkhead sudut $65^0$



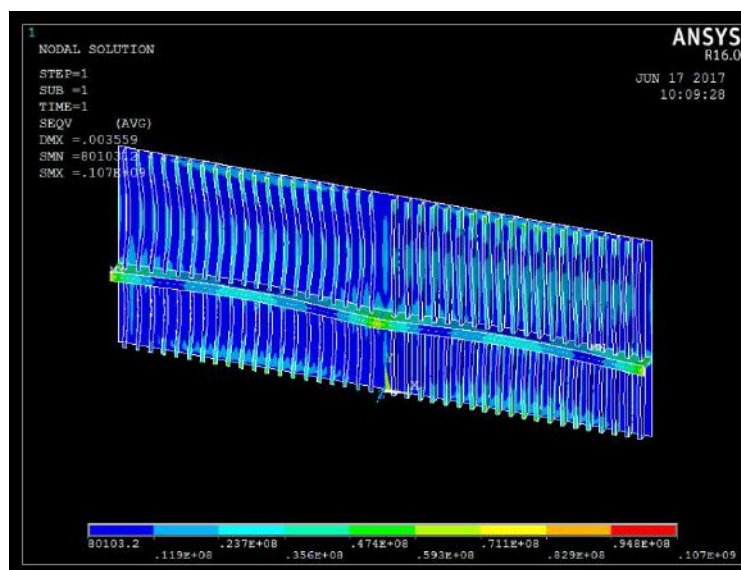
Gambar III. 34. Nilai tegangan pada *corrugated bulkhead* sudut  $65^0$



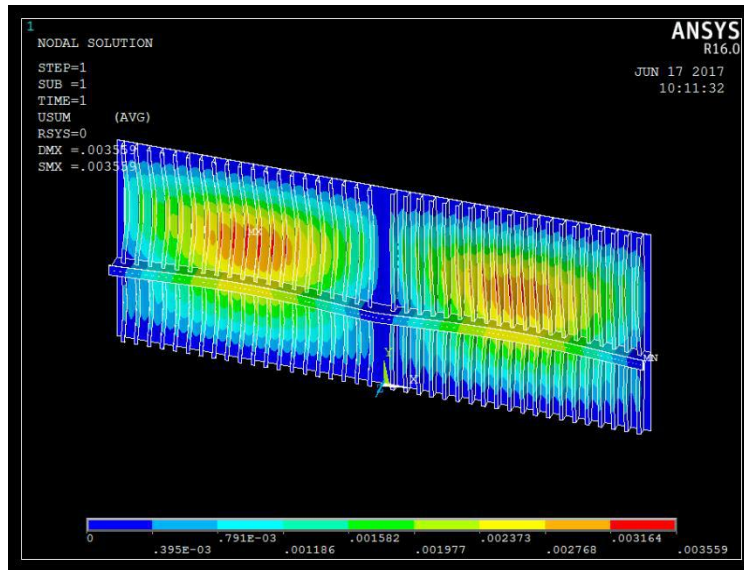
Gambar III. 35. Deformasi *corrugated bulkhead* sudut  $65^0$

Nilai tegangan maksimum pada *corrugated bulkhead*  $65^0$  adalah  $86.1 \text{ N/mm}^2$  berada pada bagian alas sekat, sedangkan nilai minimum berada pada daerah paling atas sekat adalah  $0.0873 \text{ N/mm}^2$ . Nilai tersebut sesuai dengan pembebanan yang lebih besar berada pada bagian bawah sekat sehingga terjadi nilai maksimum tegangan pada daerah tersebut. Pada *corrugated bulkhead*  $65^0$  deformasi maksimum berada pada bagian tengah sekat yaitu  $2.87 \text{ mm}$  dikarenakan nilai maksimum terjadi pada daerah paling bawah sekat maka kemungkinan daerah ini terletak agak kebawah dari setengah tinggi sekat. Deformasi minimum terjadi pada bagian sisi sekat yang berdekatan dengan tumpuan beban.

##### 5. Tranverse bulkhead dengan penumpu



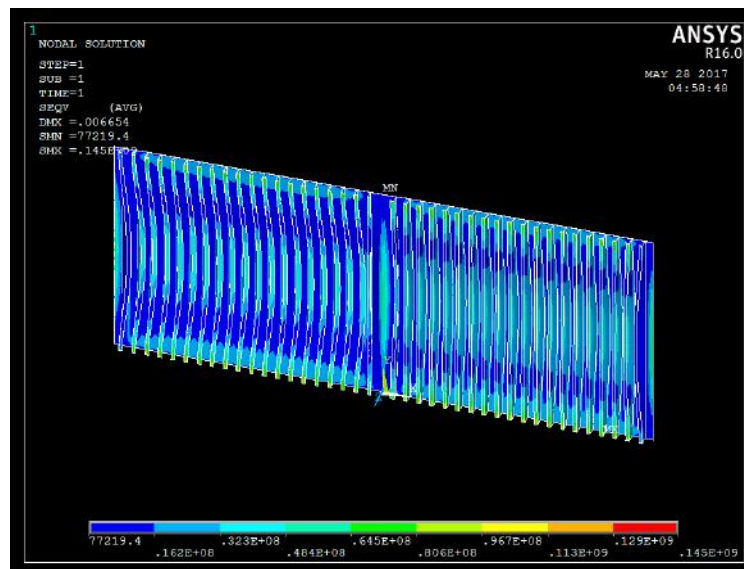
Gambar III. 36. Nilai tegangan pada *tranverse bulkhead* tanpa penumpu



Gambar III. 37. Deformasi *transverse bulkhead* dengan penumpu

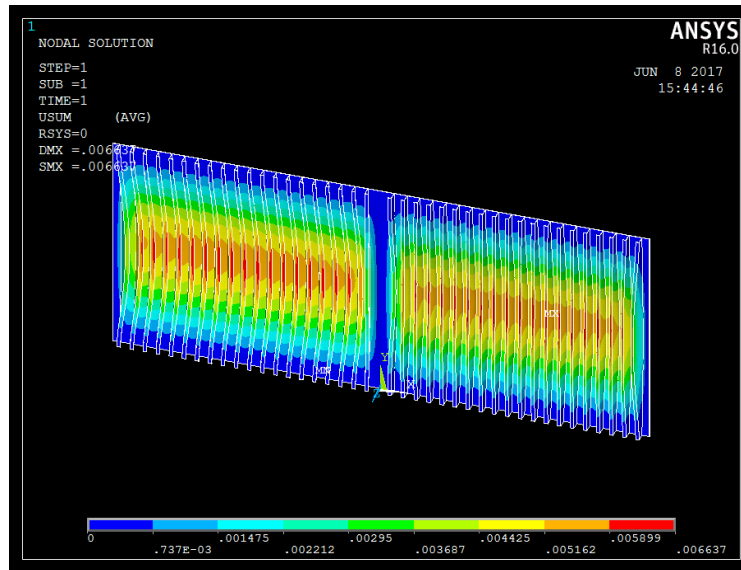
Nilai tegangan terbesar pada *Transverse bulkhead* dengan penumpu adalah  $107 \text{ N/mm}^2$  yang berada pada bagian sisi sekat dengan tumpuan beban dan nilai tegangan minimum yaitu  $0.801 \text{ N/mm}^2$  berada pada daerah bagian tengah penumpu dan penegar. Pada *corrugated bulkhead 65°* deformasi maksimum berada pada bagian tengah sekat yaitu  $3.56 \text{ mm}$  dan nilai deformasi paling kecil berada pada bagian paling atas sekat daerah tumpuan beban.

#### 6. Tranverse bulkhead tanpa penumpu



Gambar III. 38. Nilai tegangan pada *tranverse bulkhead* tanpa penumpu





Gambar III. 39. Deformasi *transverse bulkhead* tanpa penumpu

Tegangan terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu berada pada bagian paling bawah sekat yaitu 145 N/mm<sup>2</sup>, nilai tegangan minimum berada pada bagian paling atas sekat dimana tekanan pada daerah ini paling kecil yaitu 0.072 N/mm<sup>2</sup>. Deformasi yang terjadi pada *transverse bulkhead* tanpa penegar berada pada bagian tengah sekat yaitu 6.64 mm, dan nilai deformasi minimum terjadi pada bagian paling bawah sekat. Deformasi ini tergantung pada posisi tumpuan beban dan besar beban yang terjadi sesuai ketinggian jarak pusat beban.

#### IV.4. Pembahasan Hasil

##### IV.4.1. Tegangan (stress)

Perbandingan nilai kekuatan pada setiap model dilakukan berdasarkan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing model tersebut. Berdasarkan aturan BKI volume II section 11 B 5.3 nilai tegangan ijin adalah sebagai berikut :

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_N^2 + 3\tau^2} \leq \frac{180}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\sigma_N = \text{tegangan normal}, \sigma_N \leq \frac{150}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\tau = \text{tegangan geser}, \tau \leq \frac{100}{k} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$k = \text{faktor bahan} = \frac{235}{Reh}$$

$Reh = 235 \text{ N/mm}^2$ , maka  $k = 1$ .

$$\sigma_N = \frac{150}{1} = 150 \text{ N/mm}^2, \quad \tau = \frac{100}{1} = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{150^2 + 3(100)^2} \leq \frac{180}{1} \text{ N/mm}^2$$

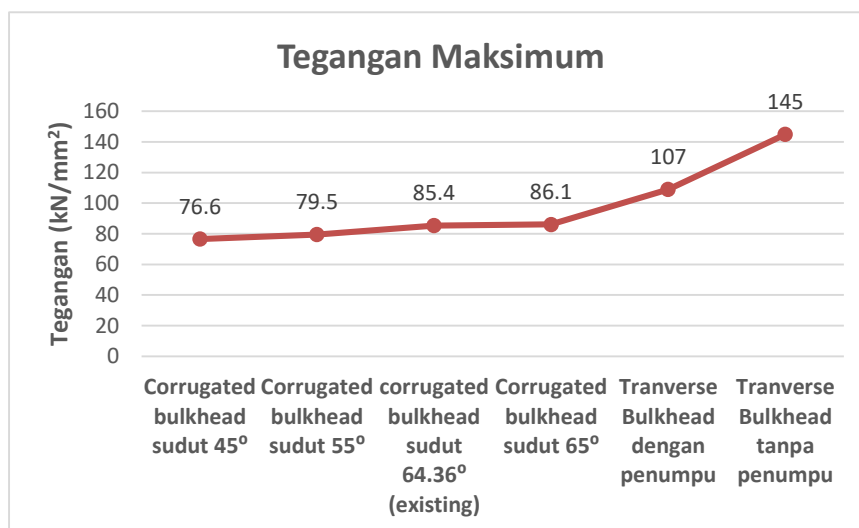
$$\sigma_v = 229.1 \geq 180 \text{ N/mm}^2. \quad \text{Nilai maksimum tegangan ijin adalah } 180 \text{ N/mm}^2.$$

Nilai tegangan ijin adalah  $180 \text{ N/mm}^2$  karena batas maksimum tegangan ijin sesuai aturan klas.

Tabel IV. 2. Perbandingan tegangan masing-masing model dengan tegangan ijin

Model Sekat Melintang	Tegangan Maksimum ( $\text{N/mm}^2$ )	Tegangan Ijin ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{\text{maks}} \leq \sigma_{\text{ijin}}$
<i>Corrugated bulkhead</i> sudut 45	76.6	180	Memenuhi
<i>Corrugated bulkhead</i> sudut 55	79.5	180	Memenuhi
<i>Corrugated bulkhead</i> sudut 64.36 ( <i>existing</i> )	85.4	180	Memenuhi
<i>Corrugated bulkhead</i> sudut 65	86.1	180	Memenuhi
<i>Transverse Bulkhead</i> dengan penumpu	107	180	Memenuhi
<i>Transverse Bulkhead</i> tanpa penumpu	145	180	Memenuhi

Nilai tegangan paling tinggi terdapat pada model sekat *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu  $145 \text{ N/mm}^2$  dan nilai tegangan terendah terdapat pada model *corrugated bulkhead* sudut  $45^\circ$  yaitu  $76.6 \text{ N/mm}^2$ . Berdasarkan perbedaan nilai tegangan pada setiap model dapat dilihat pada Gambar IV. 2 dibawah ini.

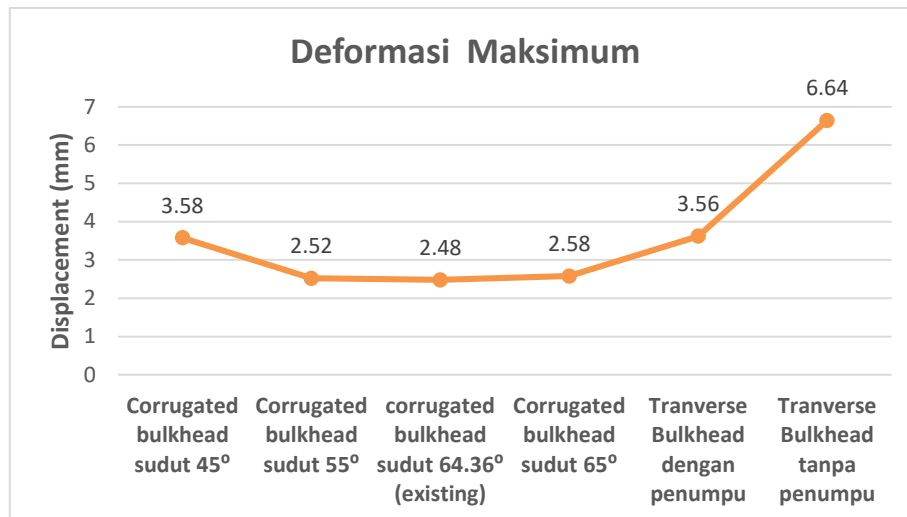


Gambar IV. 2. Grafik perbedaan nilai tegangan

#### IV.4.2. Deformasi

Nilai *displacement* sebagai acuan untuk melihat perubahan bentuk atau deformasi akibat adanya beban berupa gaya yang bekerja pada masing-masing model. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban dan apabila beban tersebut dihilangkan maka material dapat kembali ke bentuk dan ukuran semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen apabila bebannya dihilangkan. Pada analisa konstruksi sekat melintang didapatkan hasil *displacement* yang ditunjukkan pada Gambar IV. 3 dibawah ini.





Gambar IV. 3. Grafik Nilai deformasi masing-masing model

Nilai deformasi terkecil berada pada konstruksi sekat *corrugated bulkhead existing* yaitu 2.48 mm dan nilai deformasi terbesar berada pada model *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 6.64 mm. Nilai deformasi pada *corrugated bulkhead* yang lebih kecil dimungkinkan karena distribusi beban keseluruhan lekukan-lekukan sekat bergelombang. Dibandingkan dengan *transverse bulkhead* hanya menggunakan pelat lurus yang diberi penegar sebagai penguat konstruksi namun tidak terlalu kuat untuk menahan beban sehingga nilai deformasi lebih besar daripada *corrugated bulkhead*.

#### IV.4.3. Berat konstruksi

Setelah mendapatkan dimensi pada masing-masing model sekat melintang maka perhitungan berat konstruksi dapat dilakukan. Perhitungan berat konstruksi pada *pelat corrugated bulkhead* dan *transverse bulkhead* termasuk penegar dan penumpu. Total berat konstruksi pada masing-masing model sekat melintang akan mempengaruhi harga materialnya.

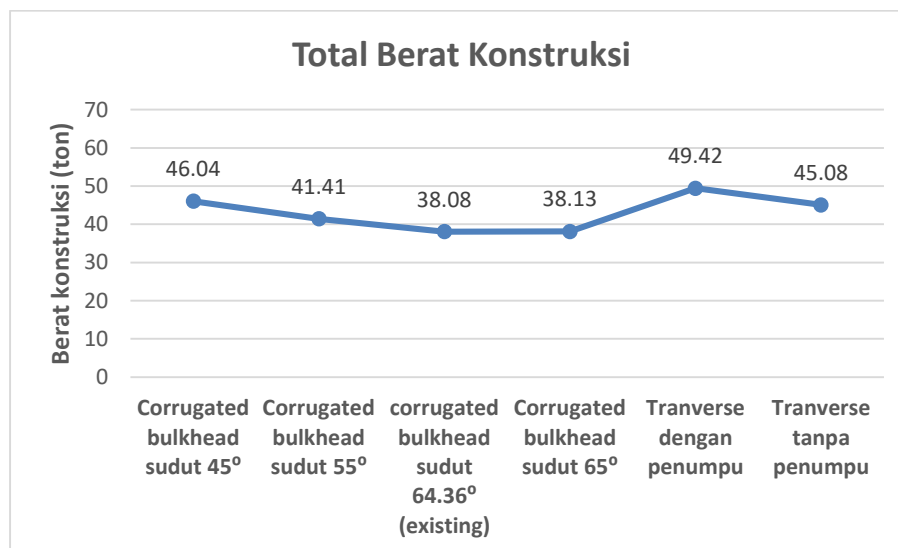
Tabel IV. 3. Perhitungan berat *corrugated bulkhead*

No	Transverse bulkhead	Ukuran (m)			Area m <sup>2</sup>	Tinggi (m)	Volume m <sup>3</sup>	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Jumlah	Berat (kg)
		Panjang	Lebar	tebal						
1	pelat sekat	24.7	10.15	0.014	-	-	3.51	7850	1	27552.48
2	penegar	0.4	0.15	0.01	0.006	10.15	0.056	7850	40	17529.05
3	penumpu	1.1	0.5	0.014	0.022	24.7	0.553	7850	1	4343.25
Transverse bulkhead dengan penumpu =										49424.78
Transverse bulkhead tanpa penumpu =										45081.53

Tabel IV. 4. Perhitungan berat *transverse bulkhead*

No	Corrugated bulkhead	Ukuran (m)			jumlah elemen	Area m <sup>2</sup>	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Berat (kg)
		b	s	tebal						
1	sudut 45 <sup>0</sup>	0.3	1.27	0.018	10	0.578	10.15	5.865	7850	46037.7
2	sudut 55 <sup>0</sup>	0.675	0.914	0.016	10	0.52	10.15	5.275	7850	41406.8
3	sudut 64.36 <sup>0</sup>	0.84	0.832	0.014	10	0.478	10.15	4.851	7850	38082.7
4	sudut 65 <sup>0</sup>	0.853	0.821	0.014	10	0.479	10.15	4.857	7850	38127.3

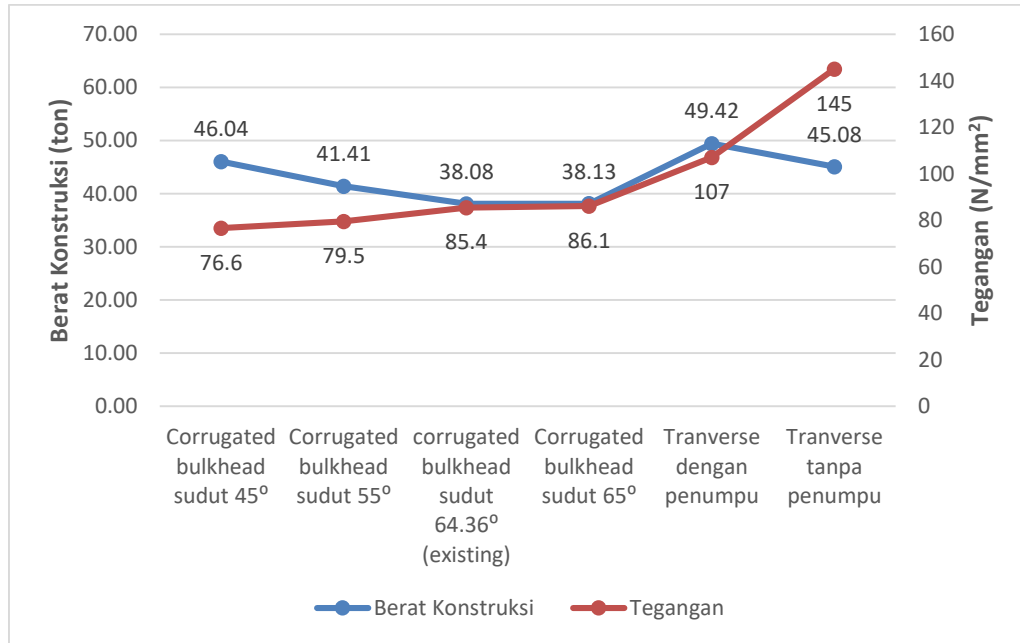
Berdasarkan perhitungan berat konstruksi pada masing-masing model sekat melintang sesuai Tabel IV. 3 dan Tabel IV. 4 diatas maka dapat dibuat sebuah grafik untuk memperlihatkan perbedaan berat pada masing- masing model yang ditunjukkan pada Gambar IV. 4.



Gambar IV. 4. Grafik total berat masing-masing konstruksi sekat

Pada corrugated bulkhead berat konstruksi terbesar berada pada model dengan sudut 45<sup>0</sup> yaitu sebesar 46037.66 kg dan berat terkecil berada pada model *existing* yaitu sebesar 38082.66 kg. Berat konstruksi pada *corrugated bulkhead* dipengaruhi oleh tebal pelat yang digunakan. Pada konstruksi *transverse bulkhead* berat konstruksi sekat dengan penumpu adalah 49424.78 kg dengan selisih 29.8 % dari berat *corrugated bulkhead existing*. Pada *tranverse bulkhead* tanpa penumpu diperoleh berat konstruksi sebesar 45081.53 dengan selisih 18.34 % dari *corrugated bulkhead existing*. Berat total konstruksi pada masing- masing model sekat akan mempengaruhi jumlah berat material yang dibutuhkan sehingga akan mempengaruhi total harga untuk material, apabila total berat semakin tinggi maka harga untuk materialnya semakin tinggi juga dan sebaliknya.

Berdasarkan hasil analisa tegangan dan dan perhitungan berat konstruksi maka dilakukan perbandingan pada masing-masing model sekat untuk mengetahui jenis sekat yang memiliki kekuatan yang besar dengan total berat yang lebih ringan. Perbandingan berat konstruksi dan tegangan pada masing-masing model sekat ditunjukkan pada Gambar IV. 5.



Gambar IV. 5. Grafik perbandingan Berat konstruksi dan Tegangan

Hasil berat konstruksi dan tegangan pada masing-masing sekat sesuai pada Gambar IV. 5 menunjukkan bahwa pada *corrugated bulkhead* sudut 64.36° (existing) memiliki berat yang paling kecil yaitu 38.08 ton dan nilai tegangan sebesar 85.4 N/mm<sup>2</sup> sehingga pada konstruksi sekat ini merupakan nilai optimal pada sekat melintang. Pada *corrugated bulkhead* sudut 65° terdapat berat konstruksi 0.12 % yaitu dan nilai tegangan 0.81 % lebih besar daripada konstruksi *corrugated bulkhead* 64.36 (existing). Pada konstruksi sekat *transverse bulkhead* nilai tegangan terkecil berada pada sekat dengan penumpu namun dengan berat konstruksi yang lebih besar dibandingkan dengan *transverse bulkhead* tanpa penumpu.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan maka terdapat beberapa kesimpulan dari Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Perhitungan modulus pada *transverse bulkhead* dapat dilakukan dengan penjumlahan beberapa modulus penegar berdasarkan total panjang elemen dan nilai modulus yang sama dengan *corrugated bulkhead existing*.
2. Penentuan dimensi penegar serta penumpu pada *transverse bulkhead* dapat dilakukan berdasarkan perhitungan modulus profil. Pada *transverse bulkhead* didapatkan ukuran penegar adalah 400 x 150 x 10 mm dan penumpu adalah 1100 x 500 x 14 mm.
3. Tegangan terkecil pada *corrugated bulkhead* sudut  $45^0$  yaitu  $76.6 \text{ N/mm}^2$  dan tegangan terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu  $145 \text{ N/mm}^2$ .
4. Deformasi terkecil pada *corrugated bulkhead existing* yaitu 2.48 mm dan deformasi terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 6.64 mm.
5. Berat konstruksi terkecil pada konstruksi *corrugated bulkhead existing* yaitu 38.1 ton dan berat konstruksi terbesar pada *transverse bulkhead* dengan penumpu sebesar 49.5 ton.
6. Berdasarkan hasil analisa tegangan dan berat konstruksi sekat yang paling murah adalah *corrugated bulkhead* sudut  $64.36^0$  (existing) dikarenakan mempunyai berat konstruksi terkecil dengan nilai tegangan sebesar  $85.4 \text{ N/mm}^2$  yang masih memenuhi tegangan ijin.

## **V.2. Saran**

Analisa konstruksi sekat melintang ini diperlukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan bahasan dan analisa tentang pengujian kekuatan menggunakan beban dinamis seperti beban *sloshing* pada kedua jenis konstruksi sekat.

Pemilihan jenis material secara detail pada pembangunan kapal baru khususnya pada konstruksi sekat melintang perlu dilakukan untuk mencapai kualitas maksimal dan juga biaya produksi yang lebih hemat.

## DAFTAR PUSTAKA

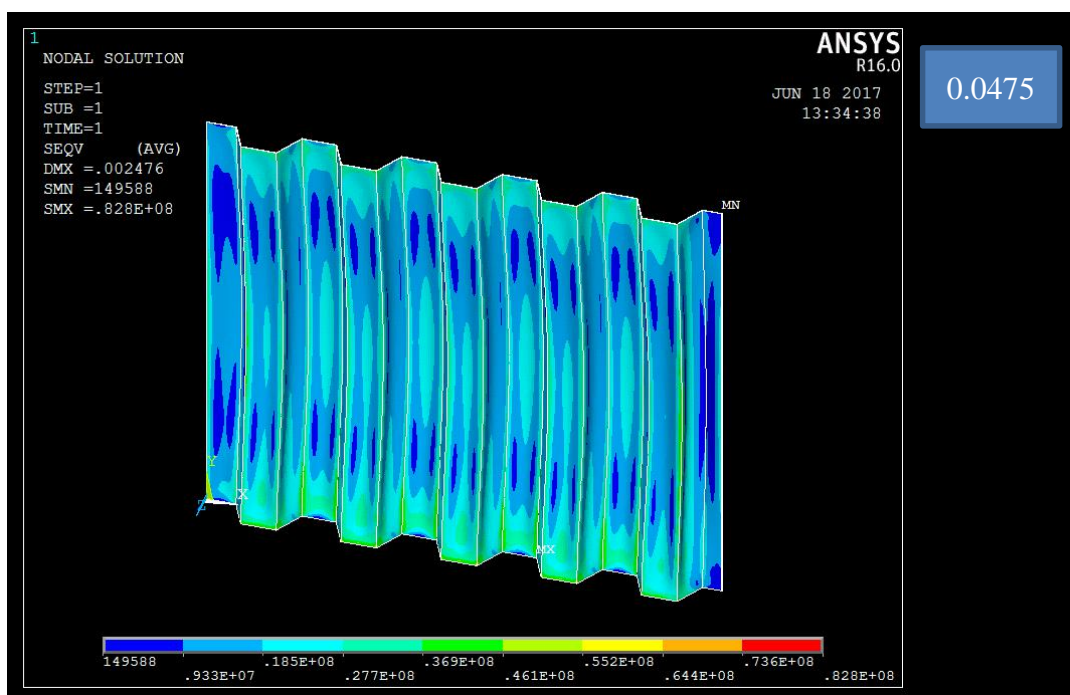
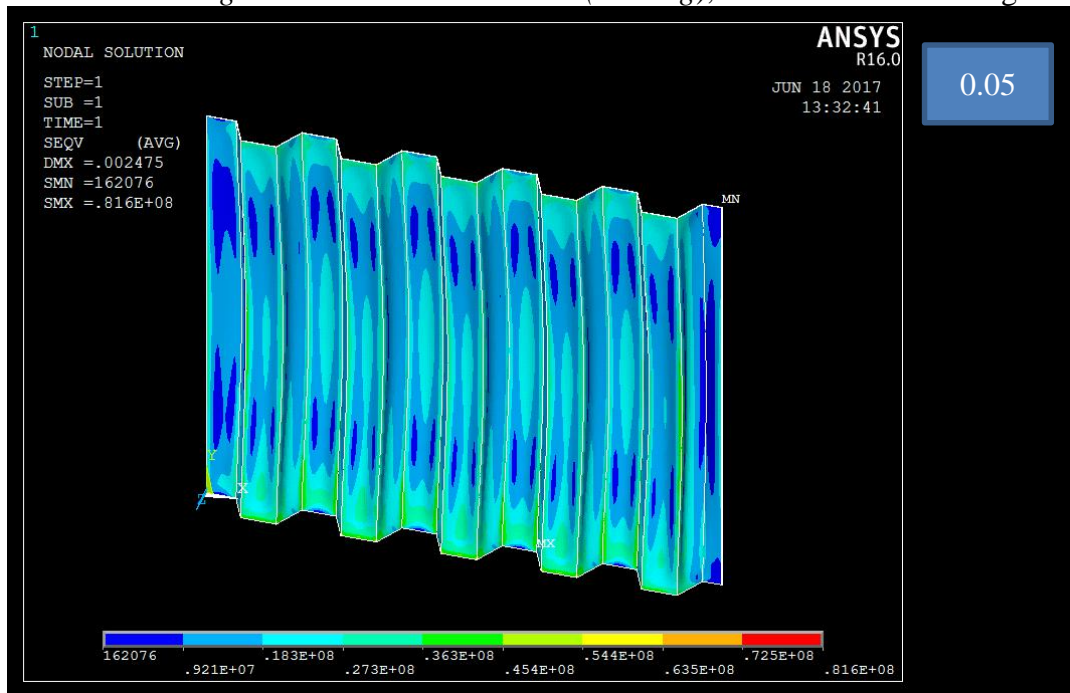
- Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers. 2012. IACS. UK.
- Cook, Robert.D. 1990. Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono. Bandung: PT ERESKO.
- Dieter, E. George. 1993. Metalurgi Mekanik. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Djaya. Indra Kusna. 2008. Teknik Konstruksi Kapal Baja. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas Departemen Pendidikan Nasional.
- Element Reference. 2010. SAS IP, Inc. Wyoming
- Gere, J. M. ; P. Timosenko. 1987. Mekanika Bahan. Edisi Kedua Versi S1. Jakarta : Erlangga
- Hilliday, David & Robert Resnick. 1985. Fisika Dasar. Jakarta : Erlangga
- Hibeller, R. C. 1997. *Mechanic of Material*, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Mottram, J. T. & C. T. Shaw. 1996. *Using Finite Elements in Mechanical Design*. London: McGraw-Hill.
- Popov, E.P. 1993. *Mechanics of Material*. Edisi kedua. Jakarta : Erlangga
- PT. Biro Klasifikasi Indonesia. 2014. *Rules for The classification and Construction of Sea going Steel Ship Volume II : Rules for Hull*. Jakarta: Indonesia
- Santosa, Budie. 2013. Diktat Kekuatan Kapal. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Tipler, Paul A. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1. Jakarta : Erlangga
- Von Mises, R. 1913. *Mechanics of solid bodies in the plastically-deformable state*. Göttin. Nachr. Math. Phys., vol. 1, pp. 582–592
- Weaver .W.Jr., Johnston, P.R. 1993. Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur Edisi kedua. Eresco. Bandung.
- Wirjosoedirdjo, Sri Jatno. 1988. Dasar-dasar metode elemen hingga. Jakarta : Erlangga

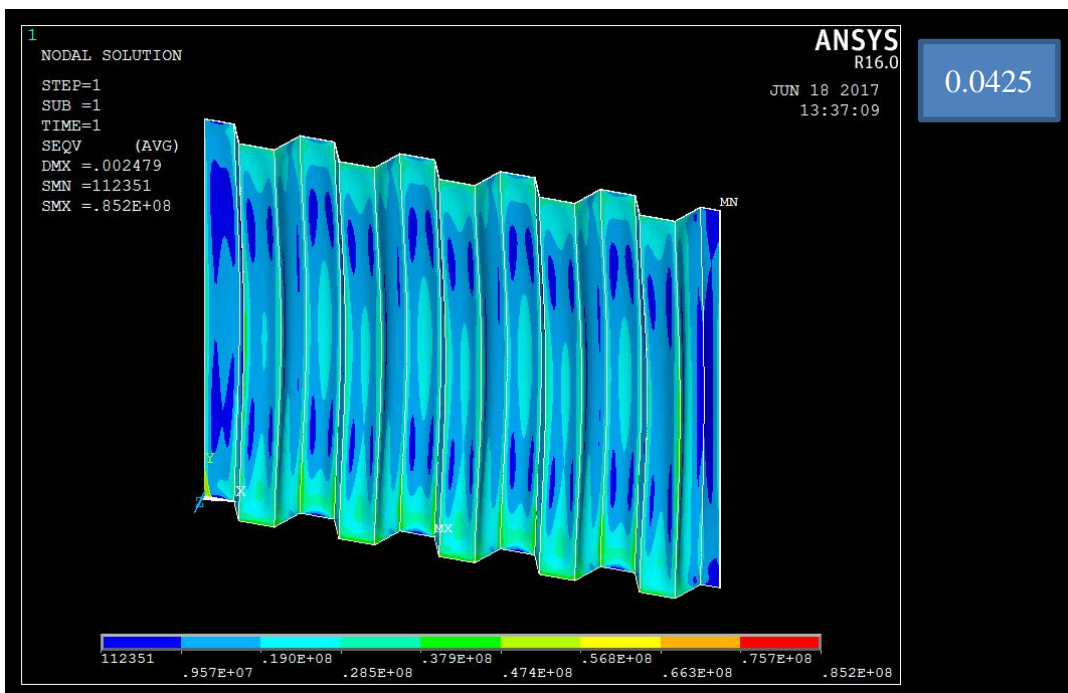
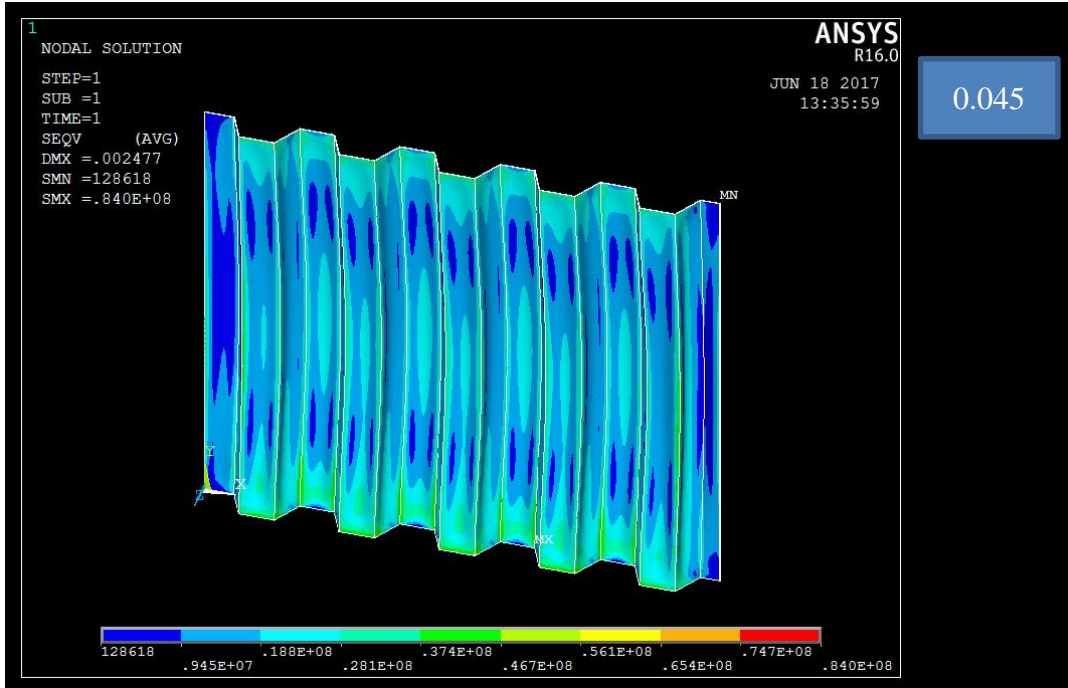
Halaman ini sengaja dikosongkan

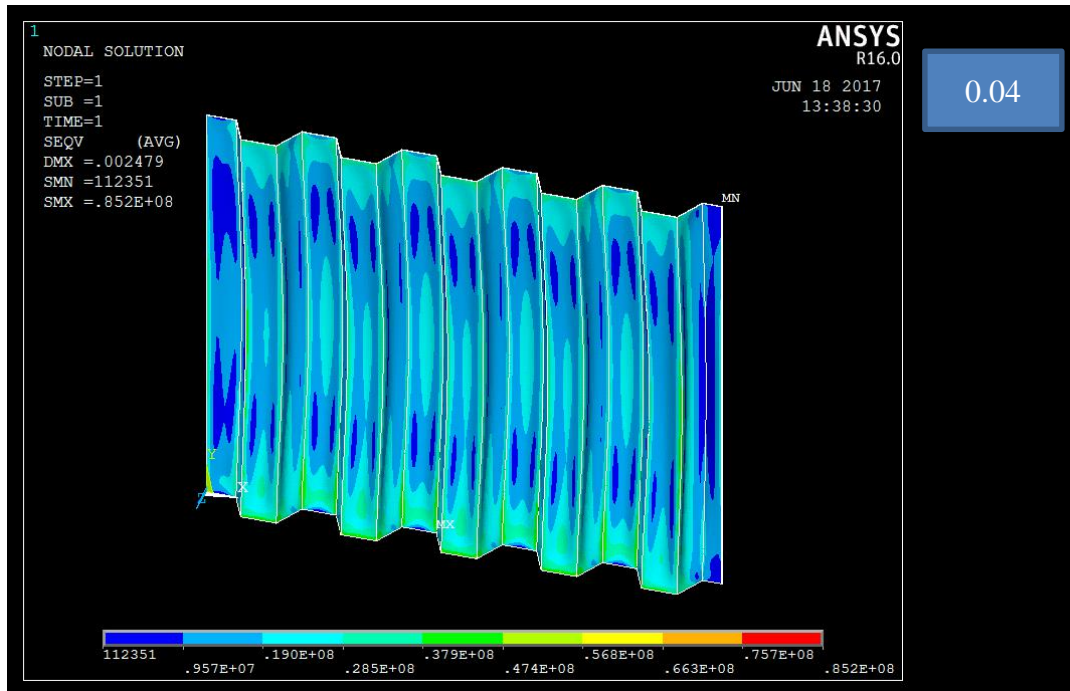


## LAMPIRAN HASIL UJI KONVERGENSI

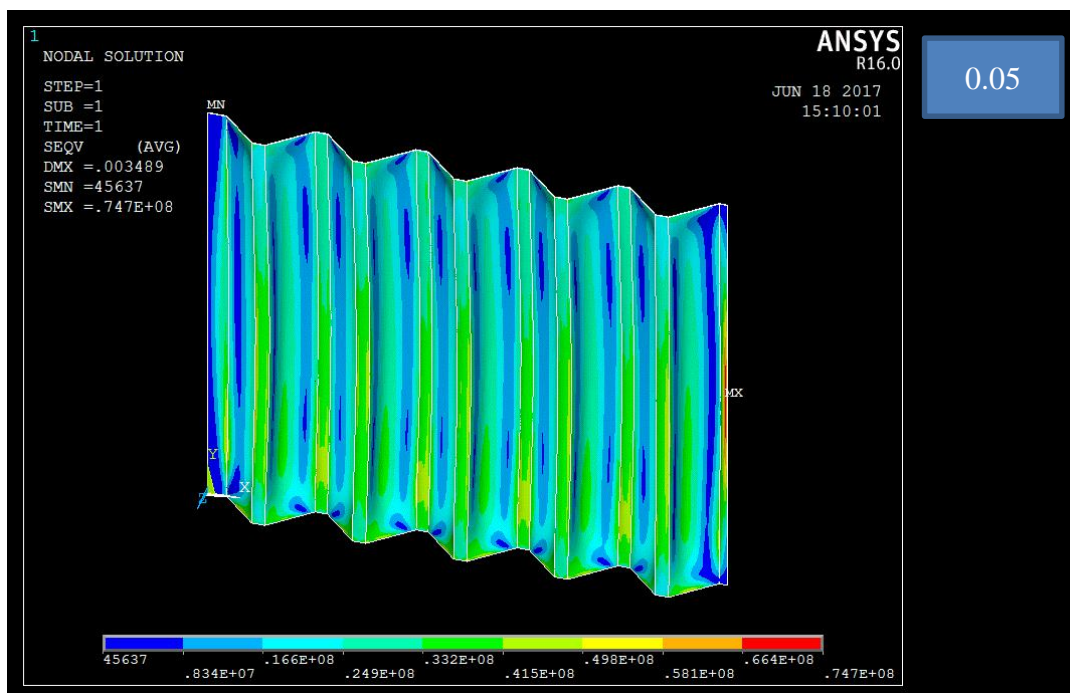
Model 1 - *Corrugated Bulkhead* sudut 64.36 (*existing*), satuan ukuran meshing dalam meter.

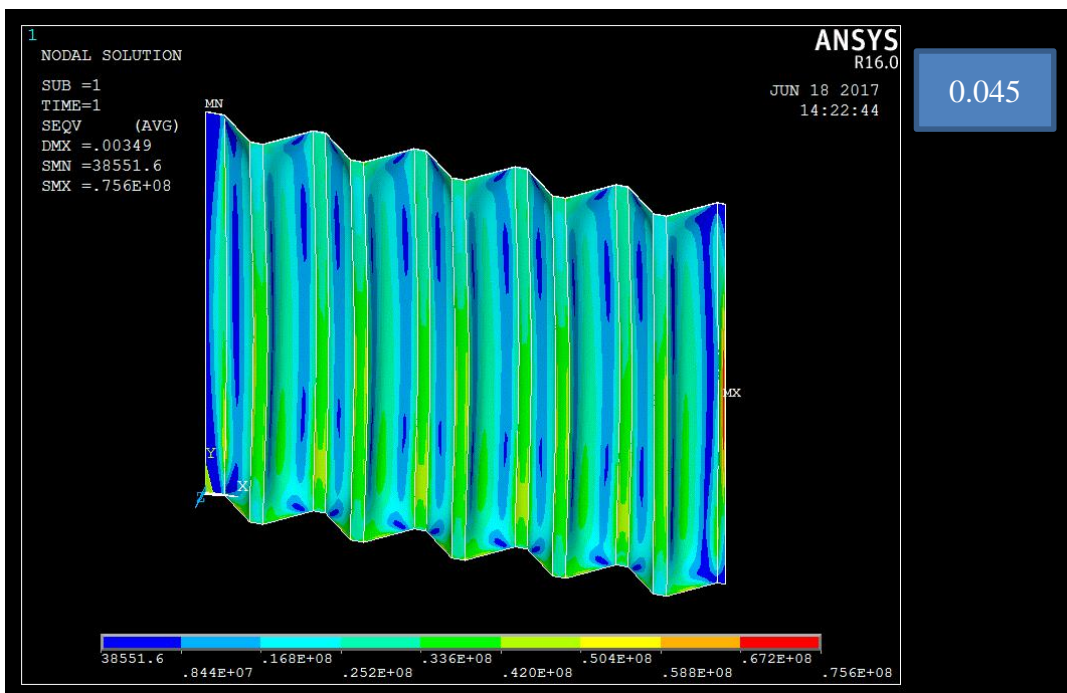
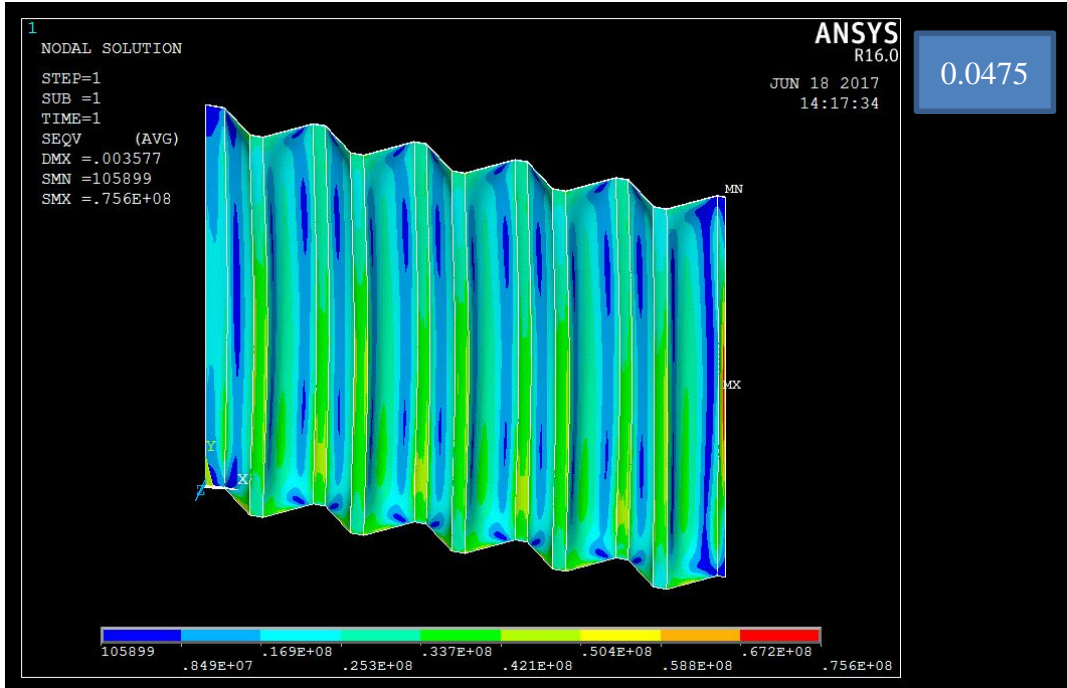


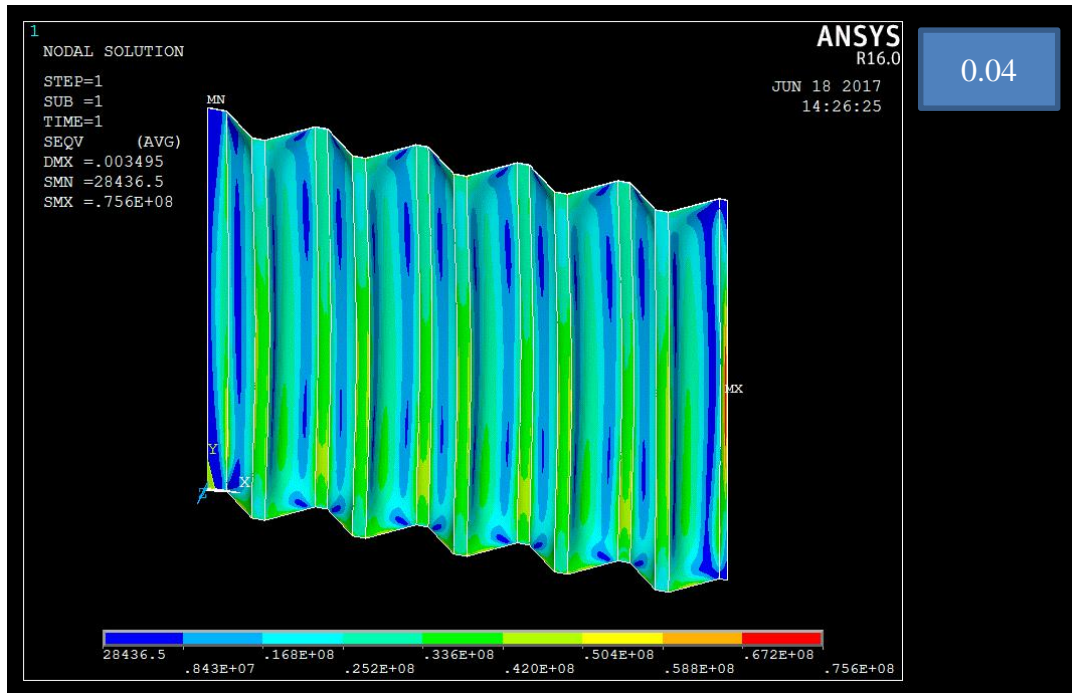




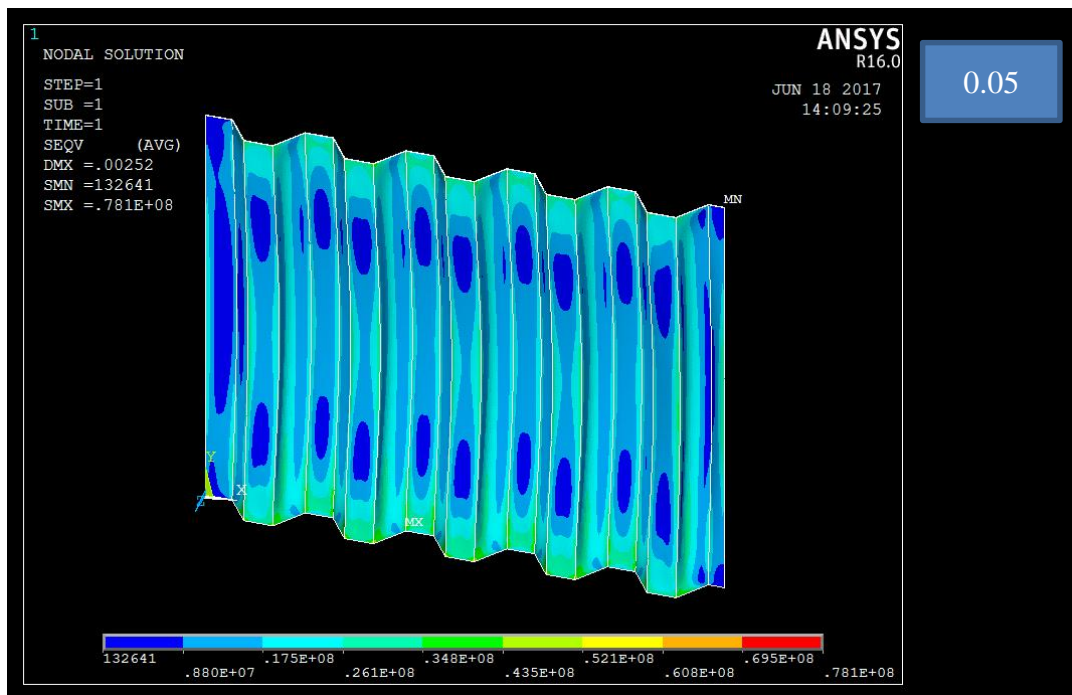
Model 2 - *Corrugated Bulkhead* sudut  $45^0$  , satuan ukuran meshing dalam meter.



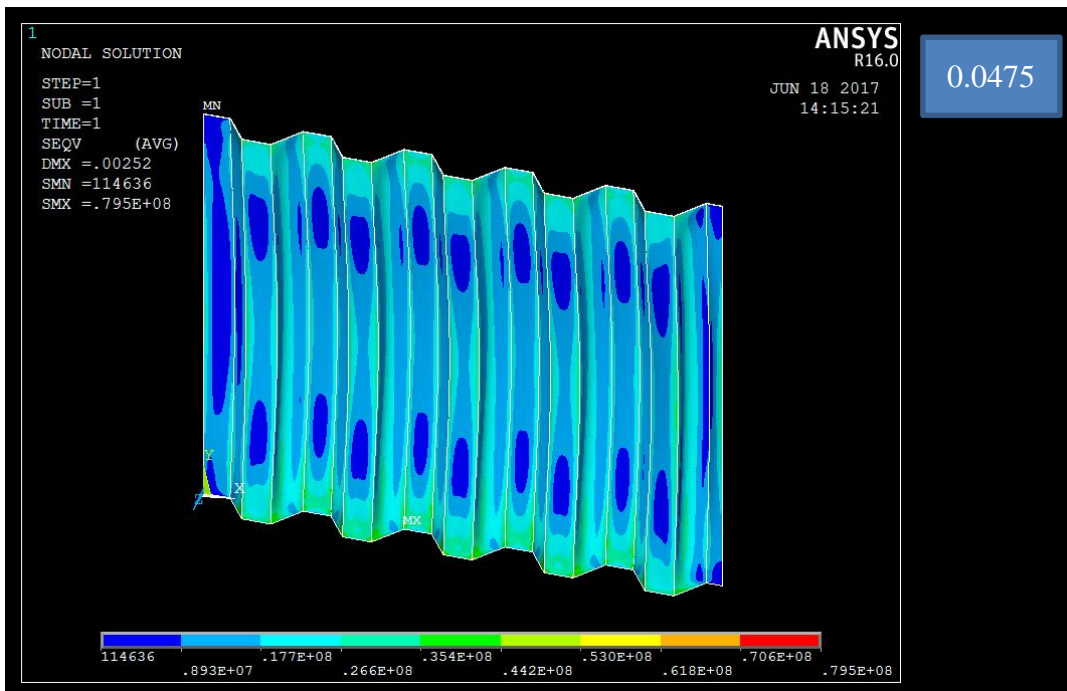
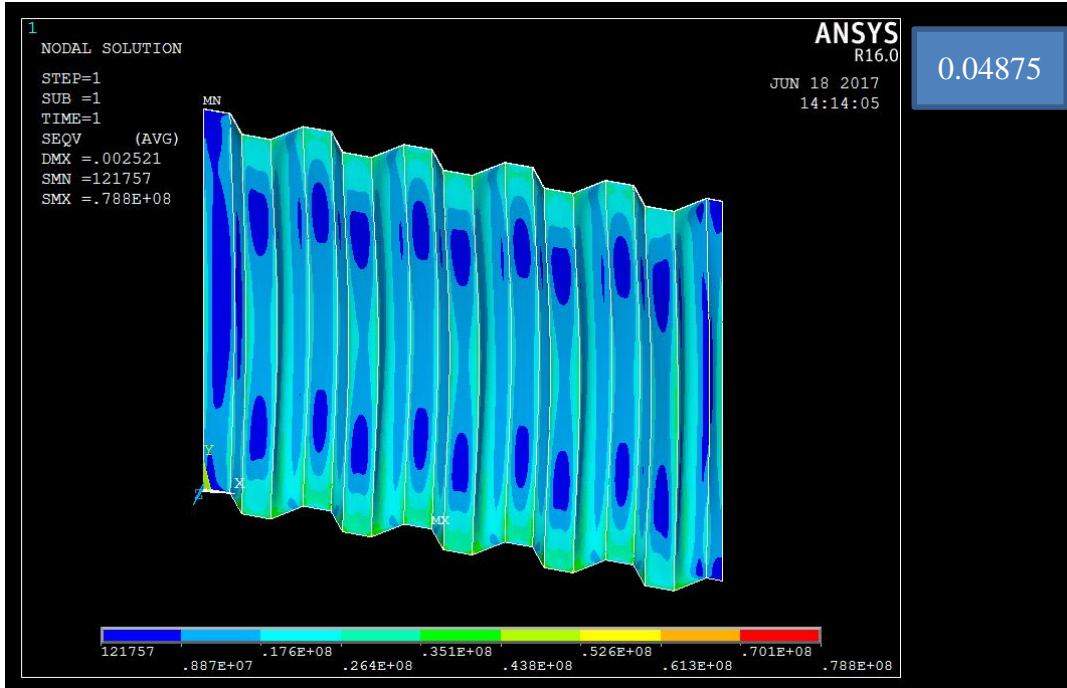


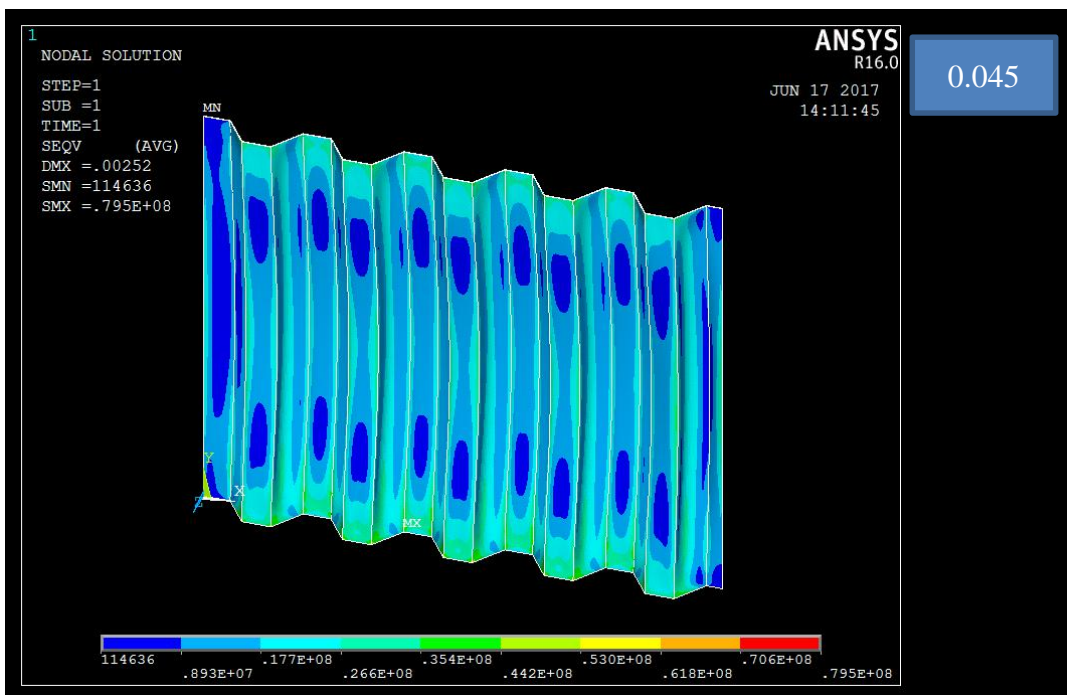
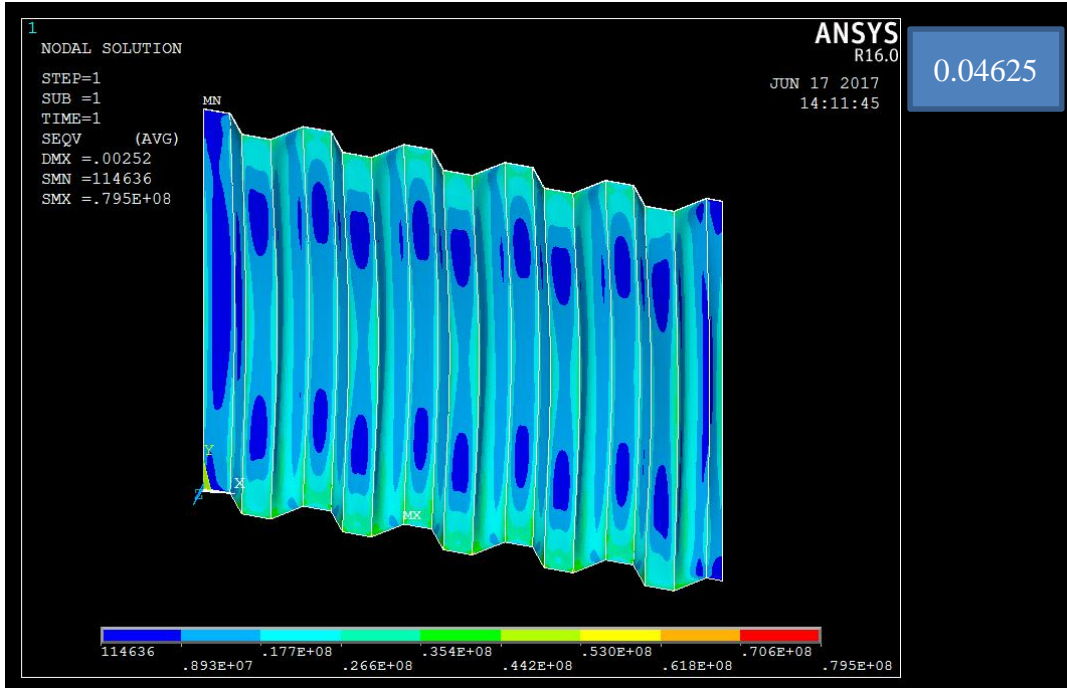


Model 3 - *Corrugated Bulkhead* sudut  $55^0$ , satuan ukuran meshing dalam meter.

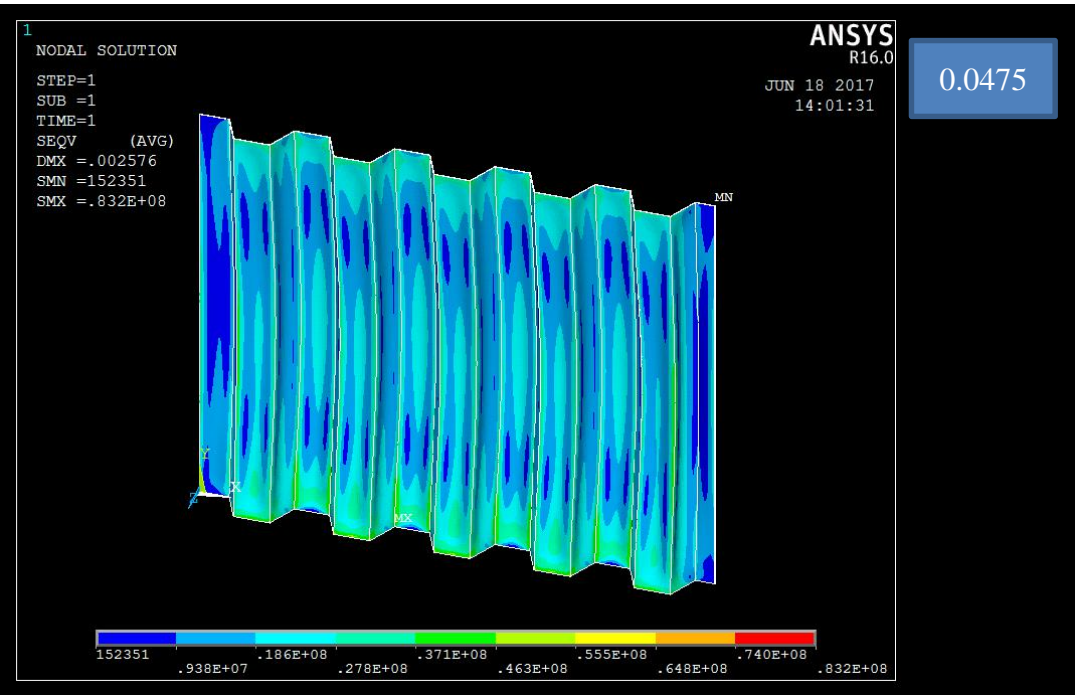
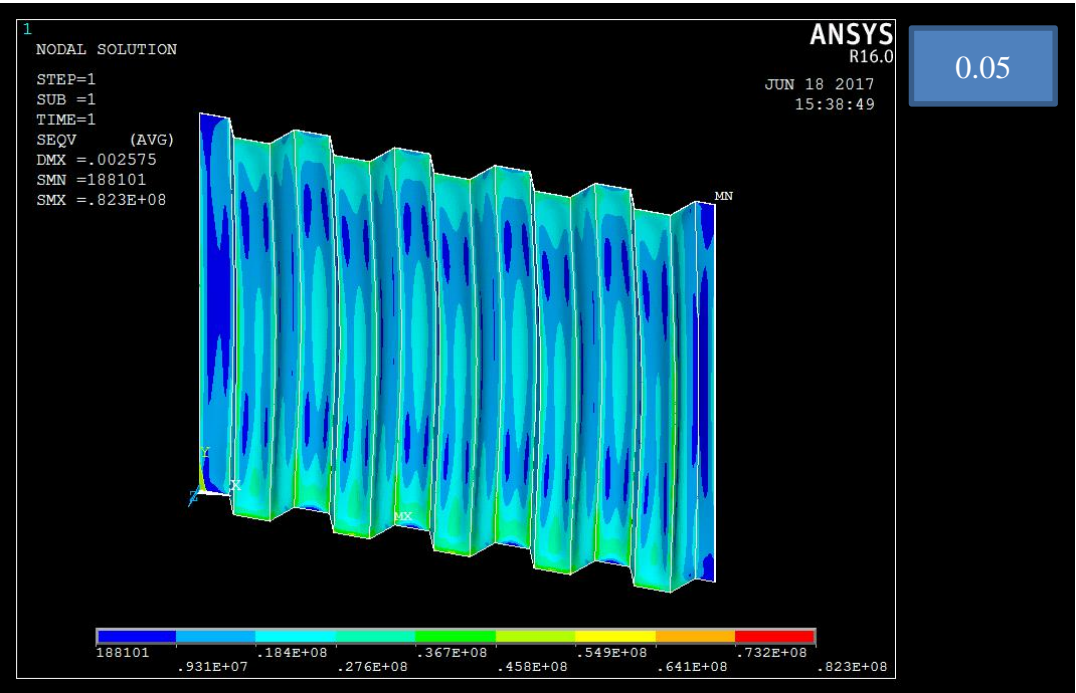




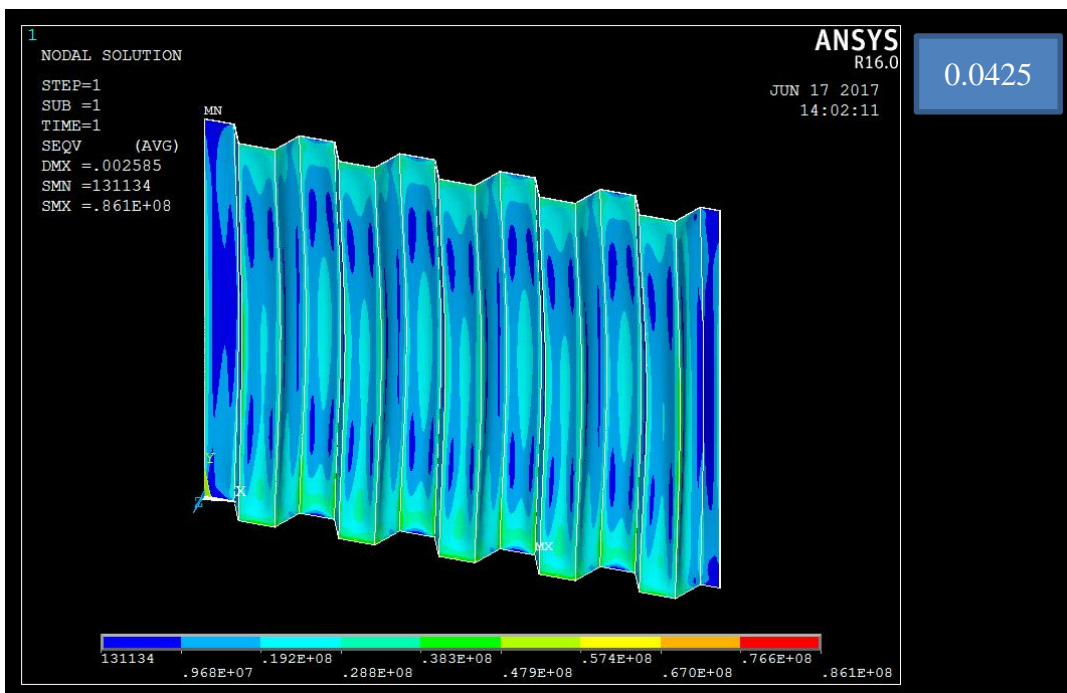
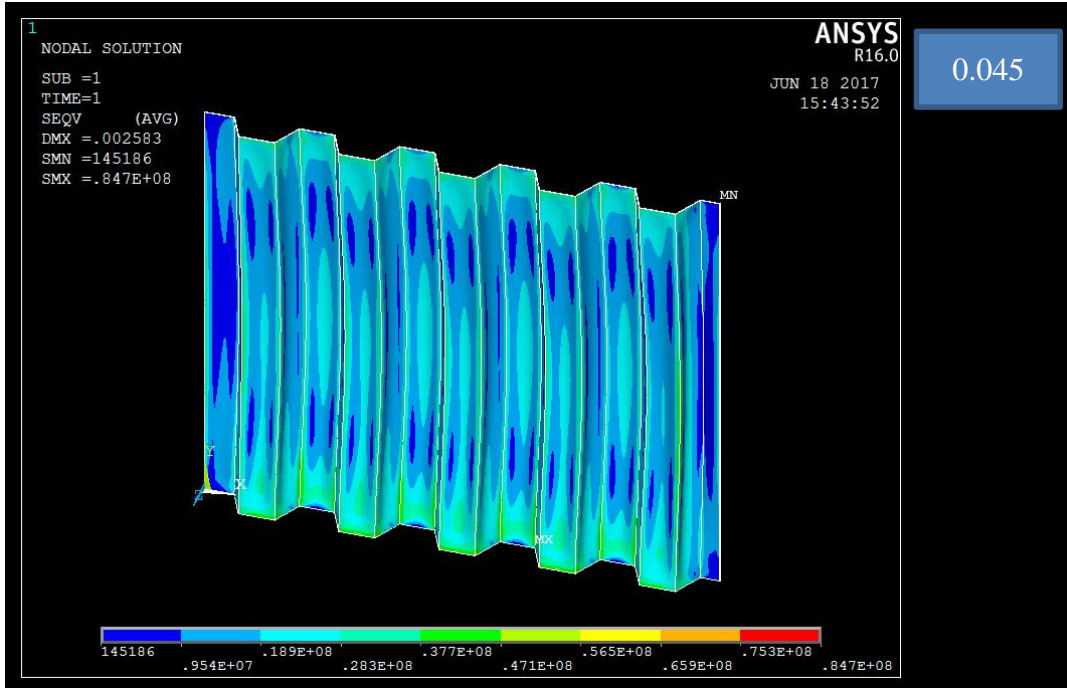


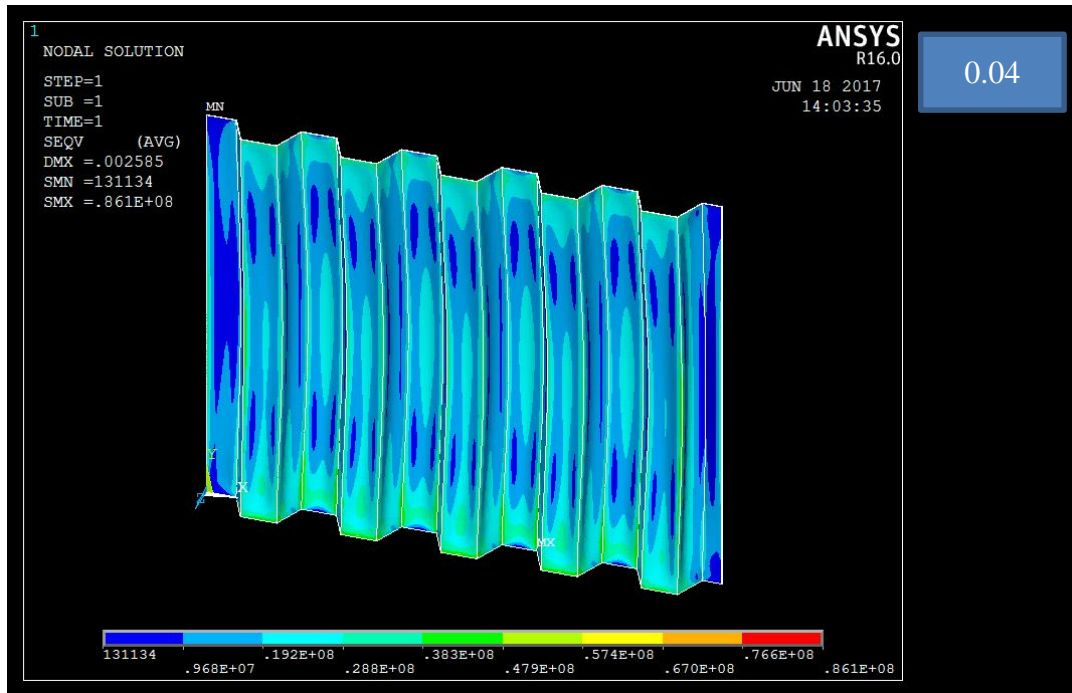


Model 4 - *Corrugated Bulkhead* sudut  $65^0$ , satuan ukuran meshing dalam meter

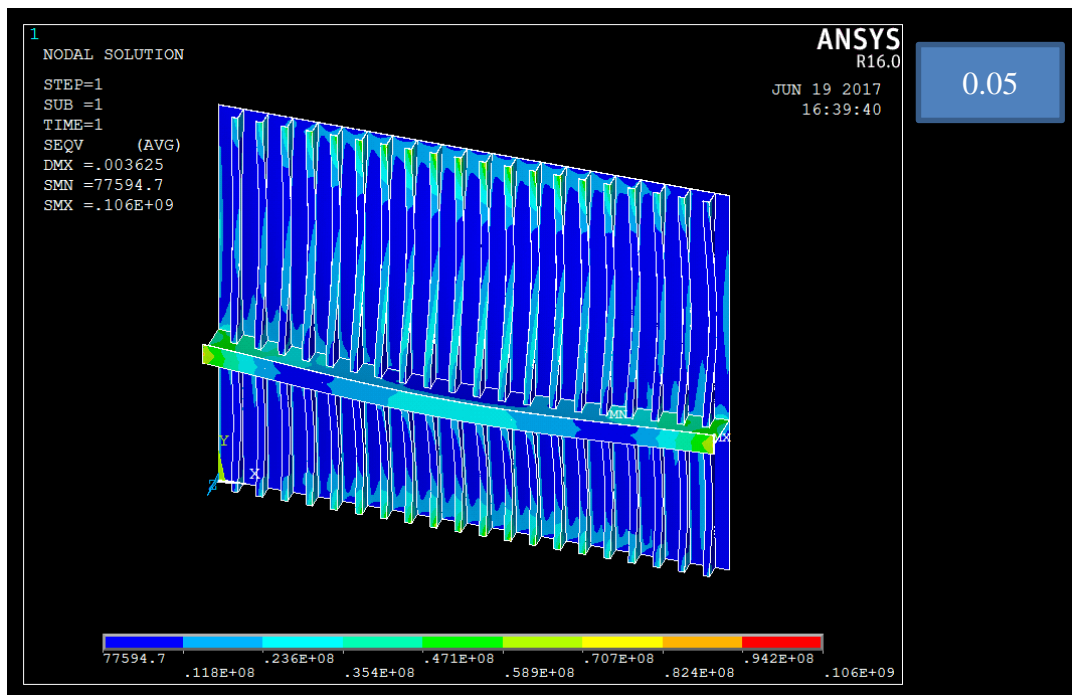


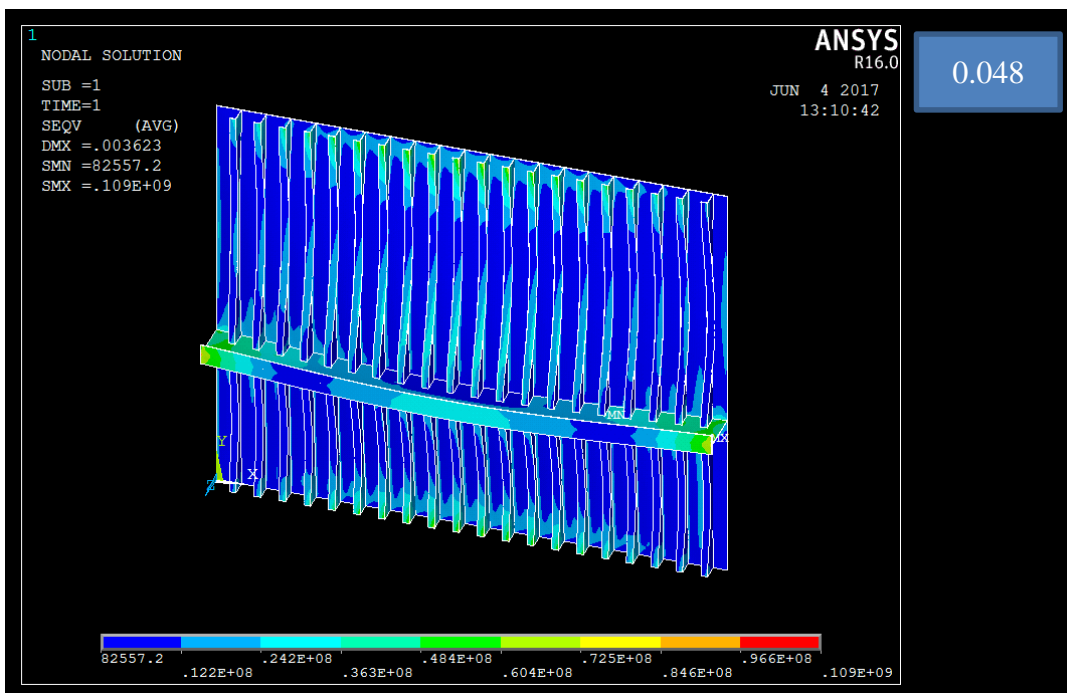
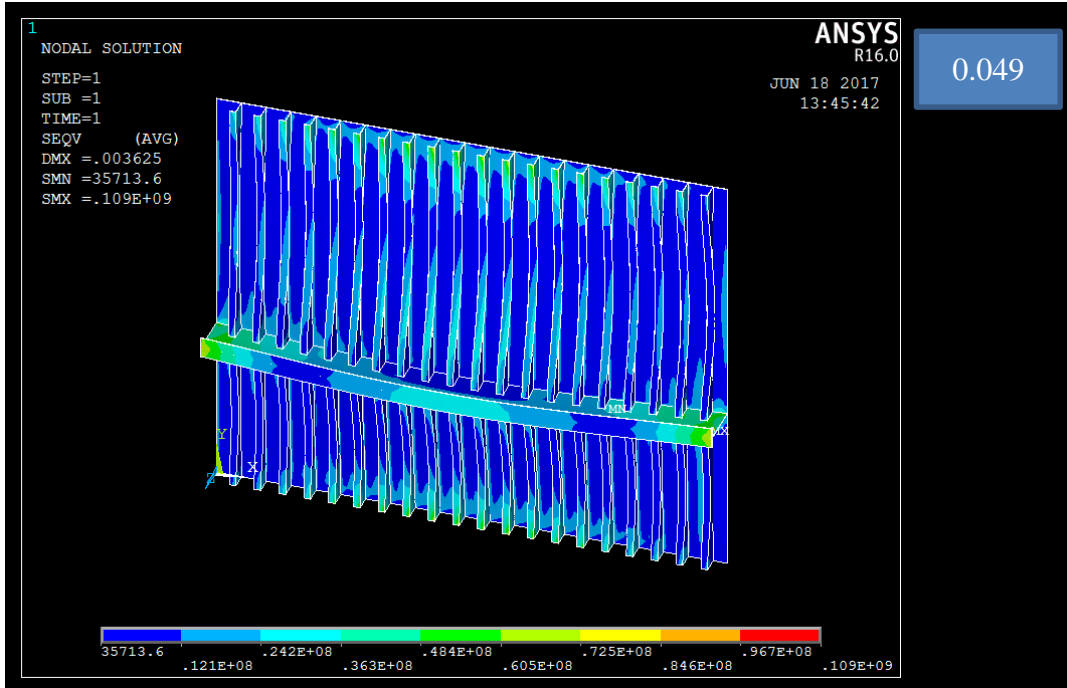


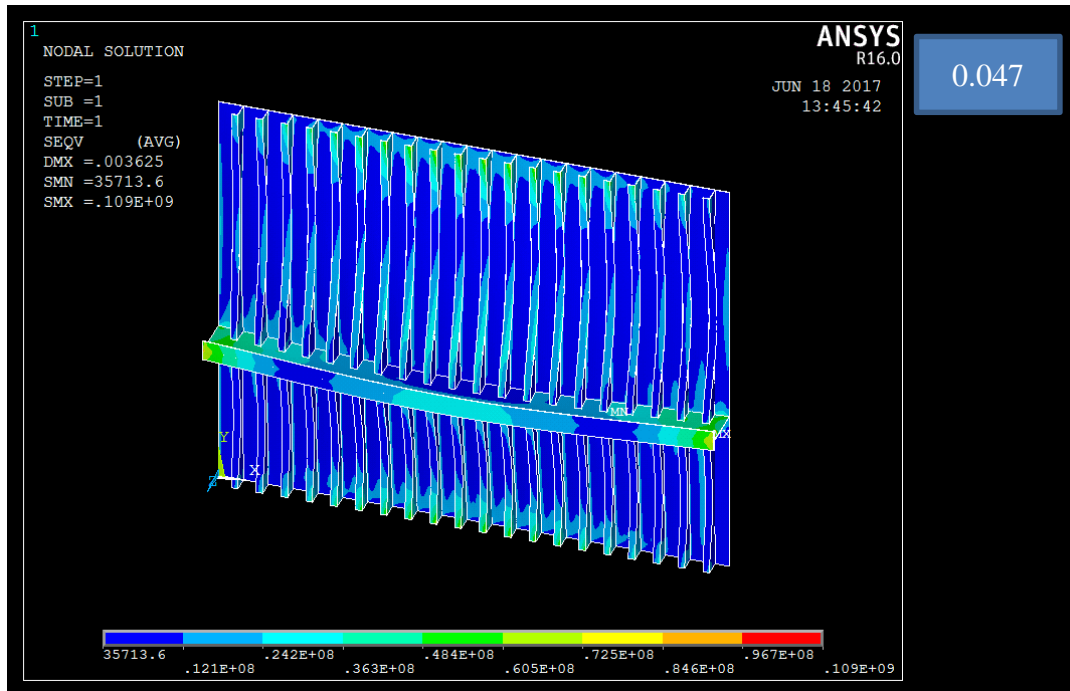




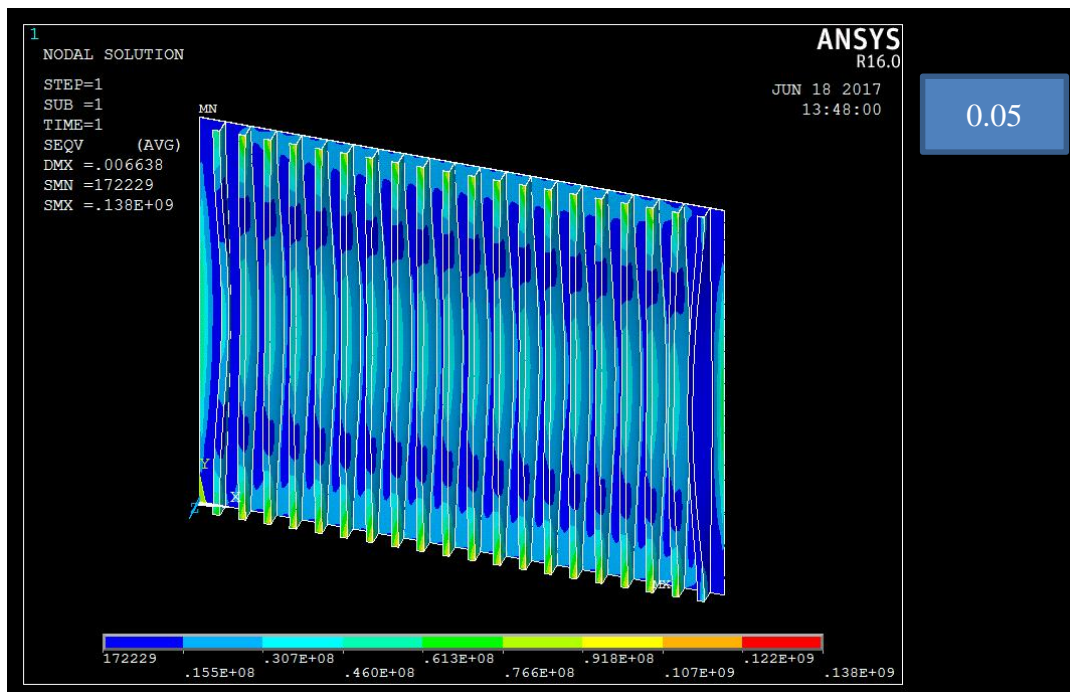
Model ke- 5 *Transverse Bulkhead* dengan penumpu, satuan ukuran meshing dalam meter.

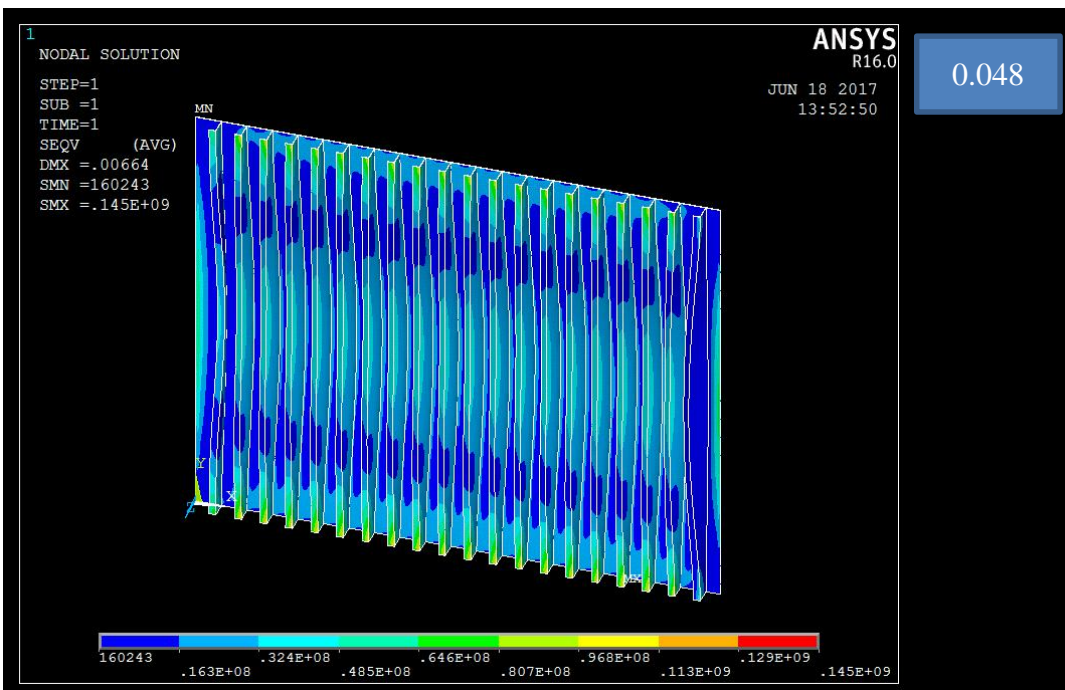
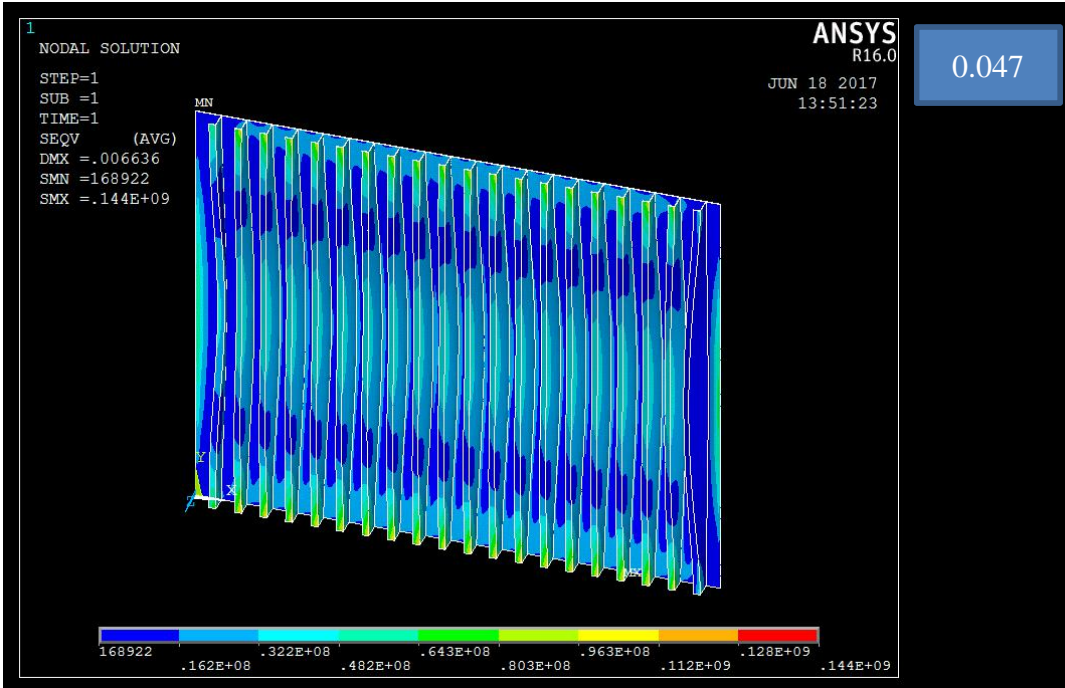


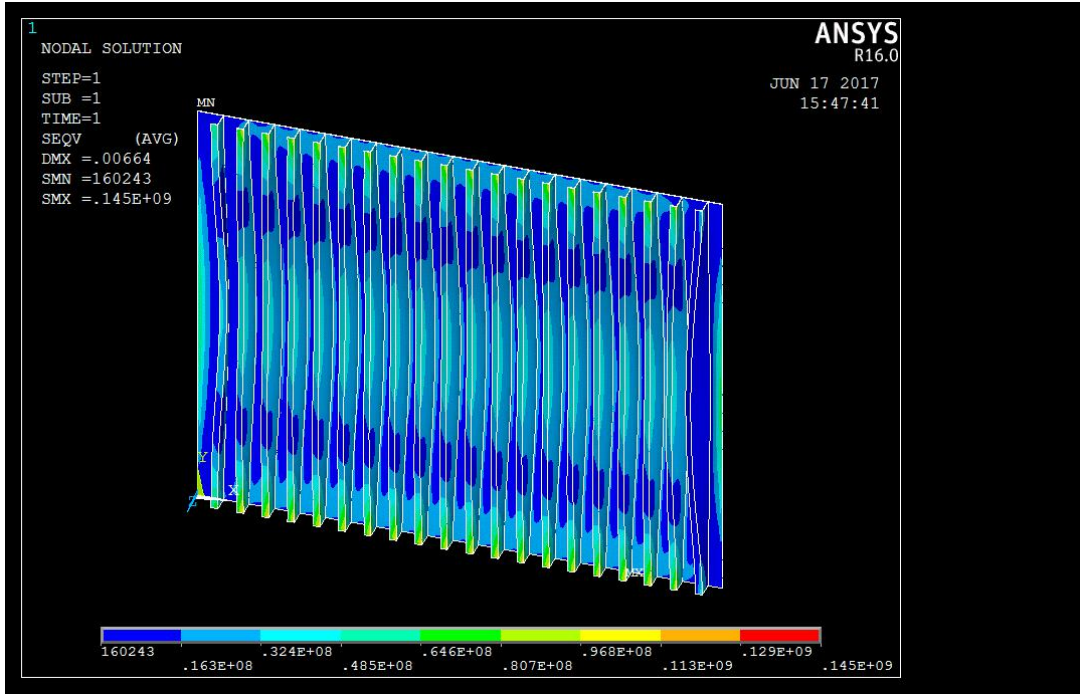




Model ke- 6 *Transverse Bulkhead* tanpa penumpu, satuan ukuran meshing dalam meter.



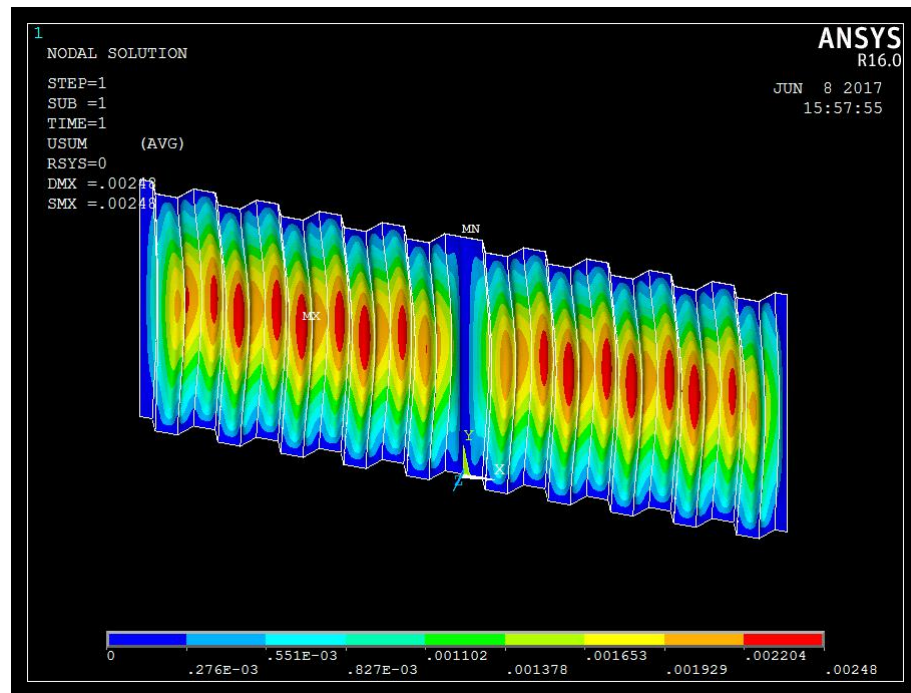




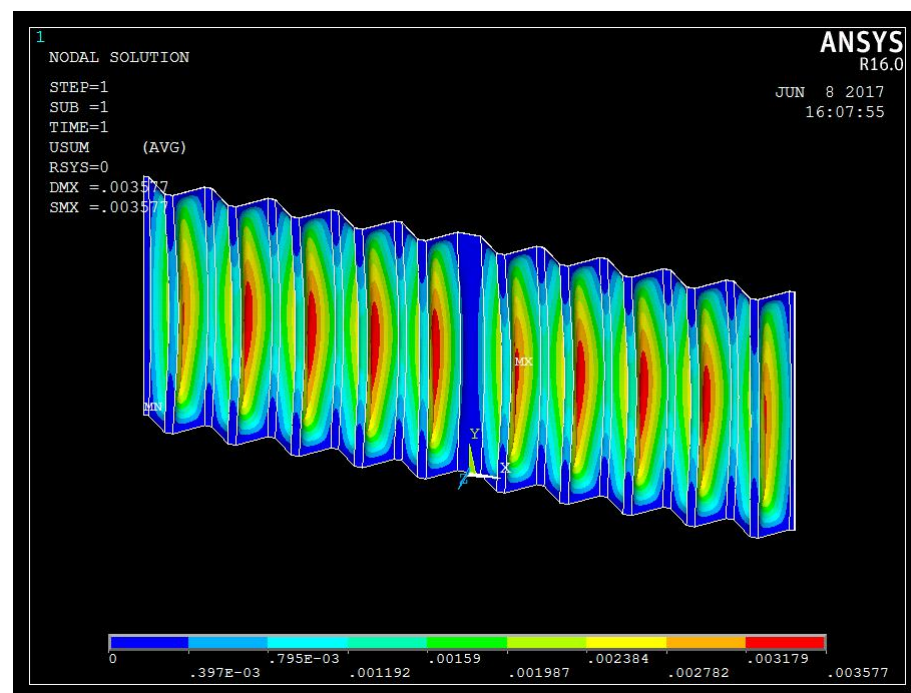


# HASIL ANALISA DEFORMASI

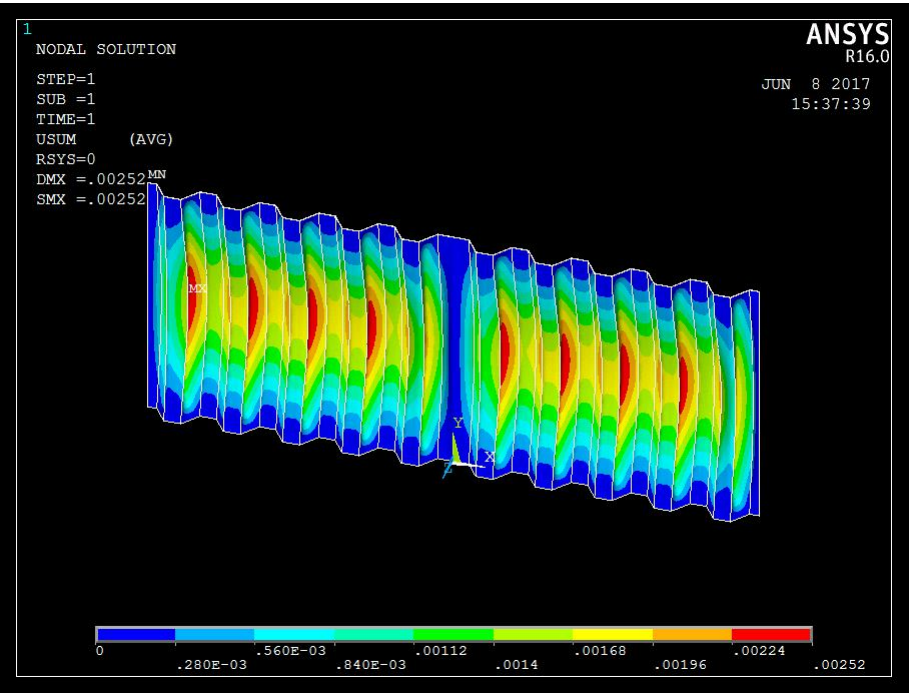
## 1. Corrugated bulkhead *Existing*



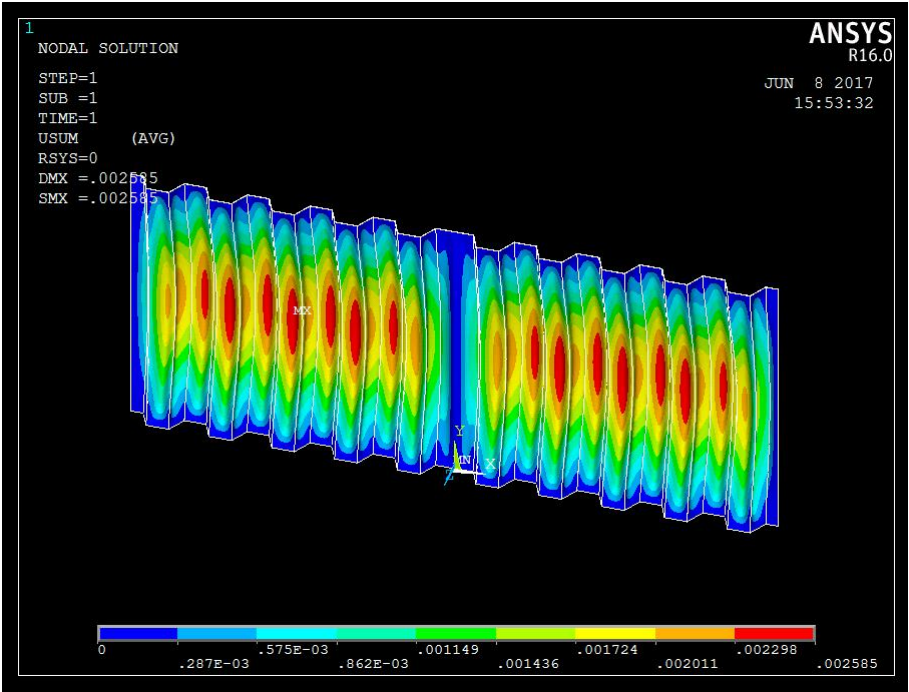
## 2. Corrugated bulkhead sudut 45°



3. Corrugated bulkhead sudut 55°

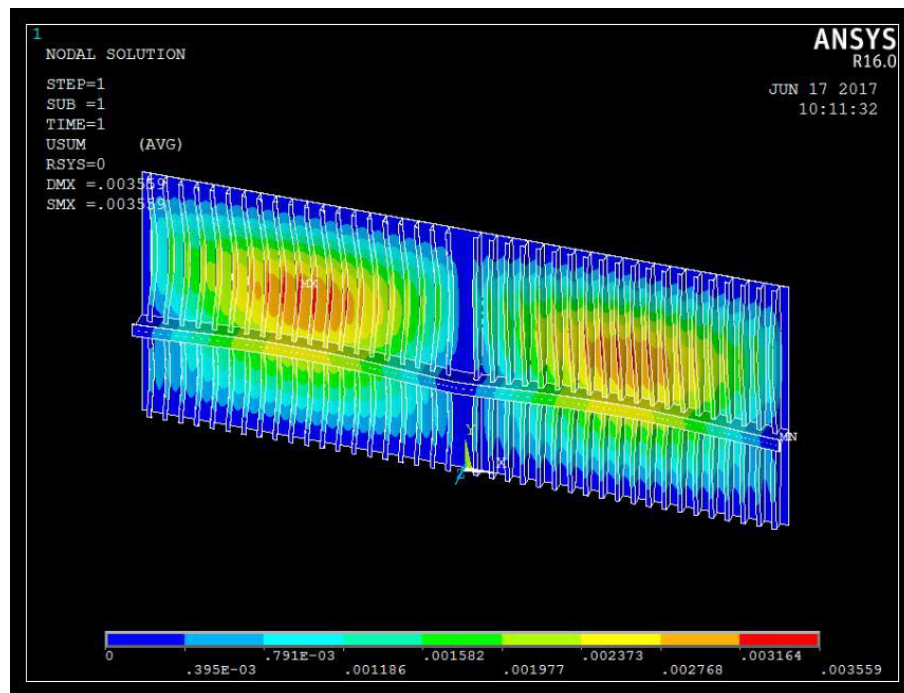


4. Corrugated bulkhead sudut 65°

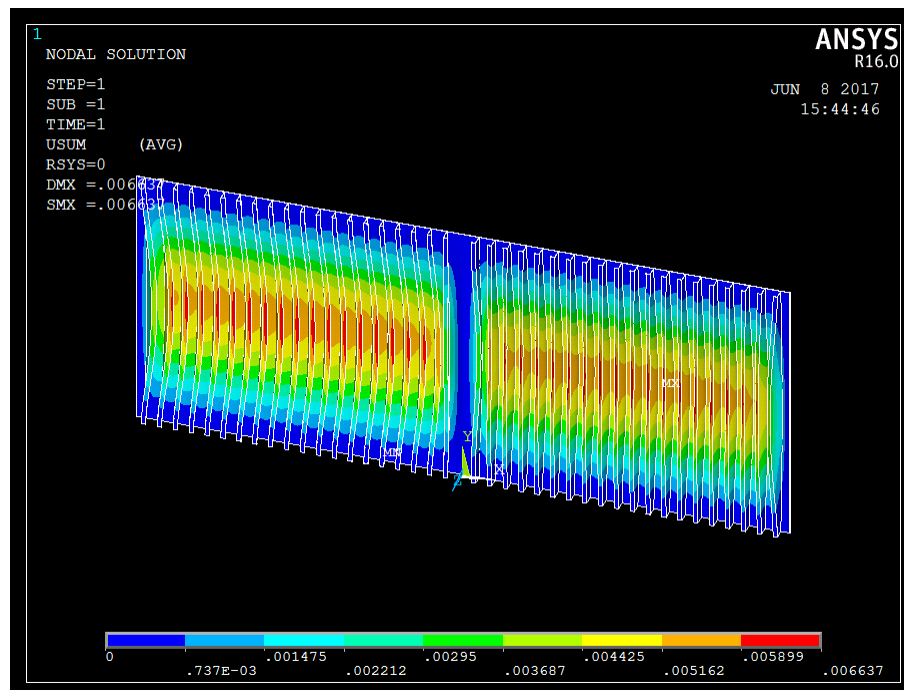




## 5. Transverse Bulkhead dengan penumpu



## 6. Transverse Bulkhead tanpa penumpu



## BIODATA PENULIS



Ardianus, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Padang pada 28 Juni 1995 silam, Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat dasar di SDN 35 Jembatan Babuai Padang , SMPN 2 Padang dan SMAN 10 Padang hingga lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN undangan. Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Kekuatan dan Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa sebagai *volunteer* Departemen Sosial Masyarakat BEM ITS 2014/2015 serta staf Departemen Riset dan Teknologi Himatekpal 2015/2016. Selanjutnya, penulis juga aktif dalam kepanitiaan (SAMPAN , Menyentuh Kampus Teknologi, ITS Social Gathering).

Email: [ardianus13@mhs.na.its.ac.id](mailto:ardianus13@mhs.na.its.ac.id)/[ardianozn@gmail.com](mailto:ardianozn@gmail.com)